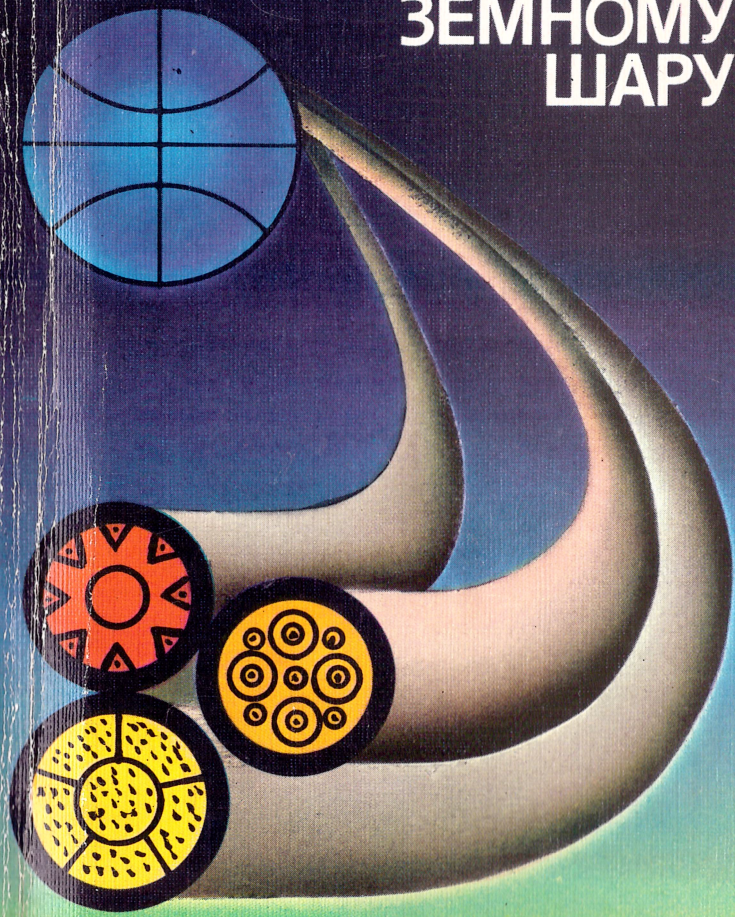
621.39
Ш 26

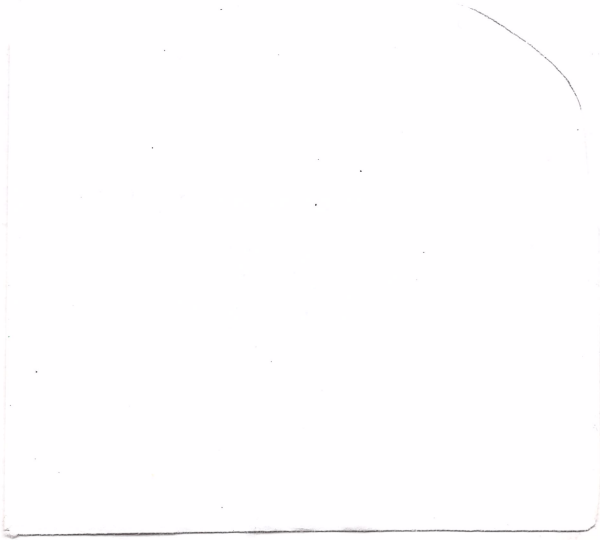
Д. Л. ШАРЛЕ

ПО ВСЕМУ ЗЕМНОМУ ШАРУ



Д. Л. ШАРЛЕ ПО ВСЕМУ ЗЕМНОМУ ШАРУ

Можайский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 143200, Можайск, ул. Мира, 93



О ТОМ

- КАК ТРУДНО ЖИЛОСЬ ЧЕЛОВЕЧЕСТВУ, КОГДА ЕЩЕ НЕ БЫЛО КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ
- ЧТО ПЕРВУЮ В МИРЕ ЛИНИЮ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ ПОСТРОИЛ ИСПАНСКИЙ ВРАЧ
- ПОЧЕМУ ПЕРВЫЕ ПОДЗЕМНЫЕ КАБЕЛИ ПОТЕРПЕЛИ НЕУДАЧУ
- К ЧЕМУ ПРИВЕЛО НЕЗНАНИЕ ФРАНЦУЗСКИМ РЫБАКОМ РУССКОЙ ПОСЛОВИЦЫ "НЕ ВСЕ ТО ЗОЛОТО, ЧТО БЛЕСТИТ"
- СКОЛЬКО РАЗГОВОРОВ МОЖНО ПЕРЕДАТЬ ПО ПАРЕ ПРОВОДНИКОВ И СКОЛЬКО – ПО ОДНОМУ КАБЕЛЮ
- ЗАЧЕМ НУЖНА И ЧТО СОБОЙ ПРЕДСТАВЛЯЕТ АНТИБРОНЯ
- КАКОЕ ВОЛОКНО И ПОЧЕМУ ПРОЧАТ В ГЕРОИ ГРЯДУЩЕГО ВЕКА

А ТАКЖЕ О РОЛИ "СЛУЧАЙНОСТЕЙ" В ИСТОРИИ РАЗЛИЧНЫХ ОТКРЫТИЙ И ИЗОБРЕТЕНИЙ

ВЫ УЗНАЕТЕ

ПРОЧИТАВ ОТ НАЧАЛА И ДО КОНЦА ЭТУ КНИГУ

621.39
Ш26

Д. Л. ШАРЛЕ

ПО ВСЕМУ ЗЕМНОМУ ШАРУ

ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ
И БУДУЩЕЕ
КАБЕЛЕЙ
СВЯЗИ

-2013
ПЕРЕВІРЕНО

Москва
«Радио и связь»
1985

621.391

ББК 32.843.2
Ш26
УДК 621.315.2

Рецензенты: И. В. Клоков, Б. М. Тареев
Историческая комиссия Центрального правления НТОРЭС им. А. С. Попова

Автономное профессиональное образование
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА
им. 60-летия Октября

Редакция литературы по электросвязи

Шарле Д. Л.

Ш26 По всему земному шару: Прошлое, настоящее и будущее кабелей связи. — М.: Радио и связь, 1985. — 320 с., ил.

75 к. 50 000 экз.

В популярной форме рассказано о великих открытиях электротехники, способствовавших изобретению телеграфа и телефона, об оптическом телеграфе, первых подземных и подводных кабелях связи, совершенствовании их конструкций и способов производства, прокладке трансатлантических кабелей.

Рассмотрены особенности конструкций современных кабелей связи, показаны перспективы их развития.

Рассчитана на широкий круг читателей, и в первую очередь на молодежь, которой предстоит выбирать профессию.

Ш $\frac{2402040000-204}{046(01)-85}$ 78–85

ББК 32.843.2
6Ф1

© Издательство "Радио и связь", 1985

п97870

О книге

Эта книга о кабеле — одном из основных элементов мировой системы связи и, в частности, Единой автоматизированной сети связи нашей страны (ЕАСС), начало создания которой относится к 1965 г.

Подчас представление о кабеле — необоснованно упрощенное. Но чтобы сконструировать и изготовить кабель, надо решить целый комплекс проблем электротехники, физики, материаловедения и особенно технологии. Современная кабельная линия связи — сложное инженерное сооружение, включающее разнообразные компоненты, причем кабель является наиболее материалоемким и дорогостоящим из них.

В то же время в книгах по электросвязи если о кабелях и упоминается, то, как правило, весьма кратко и утилитарно, без проникновения в существо и особенности развития кабельной техники. Кабели связи были несправедливо обойдены вниманием научно-популярной литературы.

В книге, в известной мере ликвидирующей указанный пробел, интересно рассказано о различных кабелях связи — городских и междугородных, морских и океанских, низкочастотных и высокочастотных, электрических и оптических, выделены характерные их особенности. Хотя главное действующее лицо книги — кабель, его история дана на фоне развития всей электросвязи. Если автор порой и раздвигает границы повествования шире чисто

"кабельной тропы", то делает это убедительно, не теряя чувства меры, находя при описании даже известных явлений новый оригинальный ракурс и приводя любопытные, ранее не публиковавшиеся сведения.

Жанр книги трудно определить однозначно. В ней и популярное изложение и обстоятельное историческое исследование развития кабелей связи. Возможно, с литературной точки зрения в этом некоторая вольность, но мне импонирует стремление к достоверности и точности детализации, к эффективному использованию исторических документов в сочетании с живостью и доходчивостью описания. При этом не приносится в жертву техническая сущность явлений.

Хорошо, что автор не обошел вниманием тех, кто своими теоретическими исследованиями и изобретениями способствовал становлению и развитию кабелей связи.

Хочу надеяться, что книгу, написанную влюбленным в свою профессию специалистом, с удовольствием и пользой прочтут многие: от молодежи, стоящей перед выбором профессии, до маститых специалистов, которым она поможет расширить свой кругозор.

Председатель Научно-технического общества
радиотехники, электроники и связи
им. А.С Попова, член-корреспондент АН СССР

В.И.Сифоров

Предисловие

Кабели связи. Немаловажна их роль в новейшей истории цивилизации. Интересна их собственная история, насыщенная неожиданными и крутыми поворотами, порой радостными, а порой и драматическими событиями.

Что побудило меня — инженера, научного работника, автора монографий, учебников, брошюр и даже задачника (что может быть суше!) — взяться за написание непривычной по жанру и, следовательно, трудной книги? Прежде всего — любовь к своей специальности инженера-электрика по кабельной технике, более узко — по технике кабелей связи, которой не изменял в течение всех лет трудовой деятельности, начиная с дипломной практики. Любовь к истории техники, чему во многом способствовал своими интересными рассказами один из крупнейших историков электротехники заслуженный деятель науки и техники РСФСР профессор Л.Д.Белькинд. Чувство протеста против несправедливого, иронически снисходительного отношения к кабелям как к изделиям, не заслуживающим особого внимания. И, наконец, стремление к преодолению нового материала.

До сих пор не потеряла значения пословица "По одежке встречают, по уму провожают". Что и говорить: "по одежке" кабель неказист — тусклый, порой мрачноватый. В сечении — кружочки побольше, кружочки поменьше — примитивное однообразие. Воображению разгуляться негде.

Но если одолев эту книгу, читатель захочет проводить кабель "по уму" — уму, затраченному на то, чтобы кабель

связи стал таким, какой он сегодня есть, позволяющим по одной паре жил одновременно разговаривать десяткам, сотням, тысячам и даже десяткам тысяч людей; уму, благодаря которому кабельные линии связи, опоясывающие земной шар по земле и под водой, стали подлинными нервами организма, называемого человеческим обществом; уму, который еще предстоит нацелить на то, чтобы кабели XXI века полностью ему соответствовали, — то автор будет считать свою скромную задачу выполненной.

Ограниченный объем книги не позволил в той мере, в какой хотелось бы, рассказать обо всех оригинальных решениях первой половины XX века, о различных, порой многолетних дискуссиях и острых схватках изготовителей и потребителей кабелей связи. Как при монтаже отснятой кинокартины, кое-чем из написанного пришлось, к сожалению, пожертвовать.

Книга рассчитана на широкий круг читателей. Но все же в первую очередь она посвящена тем, кто готов почувствовать или уже почувствовал вкус к кабельной технике, к скрытой в ней научной и инженерной романтике.

В книге приведены несложные формулы, таблицы, иллюстрации общих видов и поперечных сечений кабелей. Нельзя в полной мере постичь красоту науки и техники, не прибегая к атрибутам научного и технического мышления. Но даже в наиболее "трудных" главах материал изложен в основном на уровне знаний учащихся средних школ, техникумов и ПТУ по математике, физике, химии.

Выражаю сердечную признательность И. В. Клокову, Р. М. Лакернику, Б. М. Тарееву и Н. И. Чистякову, проявившим интерес к рукописи, сделавшим критические замечания и давшим полезные советы по ее улучшению, а также А. В. Яроцкому за консультации по истории телеграфии.

Автор

Введение

Мы живем в удивительное время. Атомные электростанции и атомоходы, космические корабли и синхрофазотроны, луч лазера и сверхзвуковые самолеты, космовидение и ЭВМ, манипуляторы и роботы. Впрочем, самое удивительное то, что человечество разучилось удивляться! Автомат на Луне — нормально! Человек на Луне — нормально! Облет Венеры — ну и что же? Встреча с Сатурном — естественно!

Более полувека тому назад, точнее, в октябре 1930 г. в Москве начали действовать две первые автоматические телефонные станции (АТС) В-1 и Е-1 суммарной емкостью 15 000 номеров. Было непривычно не произносить вслух вызываемый номер и ждать повторения его телефонисткой, а, услышав гудок, вращать диск телефонного аппарата. Теперь в городах только автоматическая связь. В одной Москве более 300 АТС. Но почему только в городах? И между городами. Летом 1959 г. впервые в нашей стране была установлена автоматическая телефонная связь между Москвой и Ленинградом, причем пользоваться ей могли только абоненты станции Б-9. Сегодня из Москвы автоматическим набором можно соединиться по телефону с 975 пунктами Советского Союза. Автоматической и полуавтоматической связью практически охвачен весь земной шар, на котором установлено уже свыше 600 миллионов телефонов.

Передача информации на расстояние — одно из самых замечательных достижений человечества. Виды связи различны. Это телефон и телеграф, радиовещание и теле-

видение, передача газетных полос и фотоизображений (так называемая факсимильная связь) передача различного рода отчетных и статистических данных для обработки их вычислительными центрами. Ну, а средств связи — два. Это проводная связь (в основном по кабельным линиям) и ее в некотором смысле антипод — беспроволочная, то есть радиосвязь, будь то связь через специальные искусственные спутники Земли, по радиорелейным линиям или просто длинно-средне- или коротковолновая. Противопоставлять одно другому, отдавать одному из средств предпочтение — не самое благодарное дело. Оба они исправно служат цивилизации. И все же соперничество между проводной и радиосвязью, начавшееся в самом конце прошлого столетия, продолжается весь XX век.

Современная сеть электросвязи, или, как стало модно говорить, сеть передачи информации, базируется на трех китах. Первый — это абонентские устройства, например телефоны, телевизоры, телеграфные аппараты. Второй кит — станции, обеспечивающие соединение абонентов между собой, распределение потоков информации по направлениям. Третий кит — линии связи, соединяющие абонентов со станциями и станции между собой — будь то в одном городе или в разных городах, в одной стране или в разных странах.

Неизменным было и остается стремление человечества передавать информацию на максимально возможное, практически неограниченное расстояние. Не случайно названия основных видов связи начинаются с греческого слова "теле", что означает "вдаль, далеко". Телеграфирование — это запись на расстоянии; телефонирование — это звучание на расстоянии; то есть передача человеческой речи на расстояние; телевидение — передача изображений на расстояние. Вот эти-то расстояния — от нескольких десятков метров до десятков тысяч километров — и преодолевают на протяжении почти полутораста лет кабельные линии связи.

"Статистика знает все", — сказали в "Двенадцати стульях" И. Ильф и Е. Петров. Может быть, "почти все"? Ибо нет сегодня такой статистики, которая назвала бы общую длину проложенных на Земле кабелей связи. Не знает ее и автор. Косвенным путем можно определить, что во всех городах мира, точнее, на городских телефонных сетях, имеется около двух миллиардов километров двухпроводных цепей, или, как их называют, пар. В начале XX века любили прикидывать, сколько раз всеми цепями связи можно обмотать земной шар. Для современных ассоциаций земной шар мал, им по плечу масштабы Солнечной системы.

Определить глобальные протяженности междугородных кабельных линий и линий производственной связи, например шахтной, почти не представляется возможным. Вероятно, всех кабелей связи на земном шаре свыше 100 миллионов километров. Кабелей с различным числом пар — от одной до нескольких тысяч, — лежащих в земле и под водой, подвешенных на воздухе и проложенных внутри зданий.

В январе 1985 г. ЦК КПСС и Совет Министров СССР приняли постановление, предусматривающее значительное ускорение телефонизации нашей страны в период до 2000 года. В 12-й пятилетке намечается установить свыше 12 миллионов телефонов, что вдвое превысит объем телефонизации, достигнутый в 11-й пятилетке. Примерно в полтора раза должен будет возрасти выпуск кабелей связи, причем наряду с традиционными электрическими найдут применение принципиально новые — одно из чудес XX века — волоконно-оптические кабели.

У объектов техники, как и у людей, свои судьбы: легкие и трудные, счастливые и несчастные, справедливые и несправедливые. Применительно к кабелям связи подойдет, пожалуй, "скромная судьба", не эффектная, не популярная, в отличие от радио, например. Действительно,

кто не увлекался радио, начиная с детекторных приемников нашего детства, кто не знает позывных РАЕМ всемирно известного Эрнста Кренкеля, кто не восхищался высотой и архитектурой Останкинской телебашни, достижениями космического телевидения. Редко в какой школе или в Доме пионеров не было раньше радиолюбительского кружка. Теперь школьники моделируют космические корабли, спутники связи, орбитальные солнечные станции.

А восторгался ли кто-нибудь кабелем, интересовался ли им? За исключением специалистов — вряд ли. Кабель, как правило, не виден. Скрытый от глаз людских, несет он десятилетиями свою подземную или подводную вахту. Даже если и виден, во время прокладки например, на больших деревянных катушках — барабанах, стоящих на улице, ну что в нем занимательного? Длинный, гибкий, змеевидный, толщиной когда в руку, а когда и побольше.

В компании разнообразнейших по форме и отделке телефонов, цветных телевизоров, радиоприемников кабель, как Золушку в сказке Шарля Перро, терпят, не питая к нему интереса и любви. О нем вспоминают в двух случаях (да и то недобрым словом): когда из-за отсутствия кабеля невозможно установить в квартире телефон или когда уже установленный телефон вдруг перестает работать вследствие повреждения линии.

Не повезло кабелям и в популярной литературе. Книг по радиосвязи не счесть. Публикаций о телеграфе и телефоне, их изобретении и развитии — сотни и тысячи. О кабелях — едва ли несколько десятков. В большинстве популярных книг по электросвязи о кабелях сказано лишь вскользь, подчас и неточно.

В этой связи поучительно высказывание знаменитого русского электротехника академика Б. С. Якоби в речи "Об электротелеграфии" на публичном заседании Петербургской академии наук 29 декабря 1843 г.: ". . . я должен

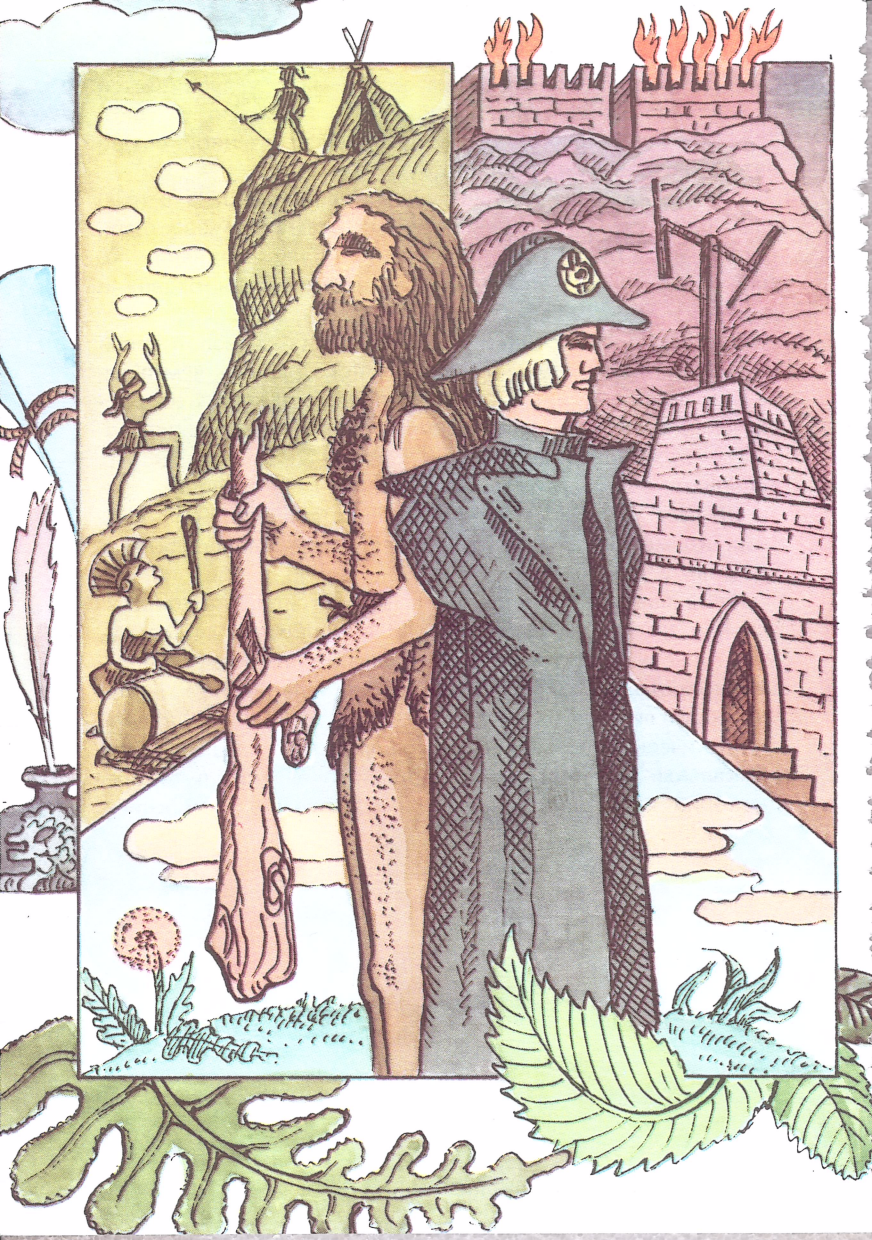
просить вас подарить мне еще несколько минут, чтобы. . . . . поговорить о самом важном, чем обуславливается всякое телеграфическое сообщение, а именно о токопроводной гальванической цепи, предназначенной соединять оба отдаленных друг от друга конца".

История кабелей прямо или косвенно связана с именами ряда ученых и инженеров как всемирно известных, так и известных только узкому кругу специалистов. Дань уважения их заслугам по возможности отдана в книге.

Передача на расстояние электрических сигналов связи по линиям была осуществлена намного раньше, чем передача электроэнергии. В этом нет превосходства, а есть логическая закономерность. Самый трудный шаг в неведомое — это первый шаг. Юрий Гагарин 12 апреля 1961 г. совершил один виток вокруг Земли за 108 минут, или за 1,8 часа. В 1982 и 1984 годах рекордные полеты советских космонавтов длились соответственно свыше 5050 и 5650 часов.

Легче сначала передать по цепи ток силой в миллиамперы, а затем уже переходить к амперам, килоамперам, мегаамперам. Первая линия передачи электроэнергии демонстрировалась в 1882 г., когда телеграфные линии уже достигли своего расцвета.

Технические возможности современных кабелей связи уникальны. Но до этого был долгий и нелегкий путь, предыстория и история которого рассказаны в этой книге.



Глава 1 В ДОКАБЕЛЬНУЮ ЭПОХУ, ИЛИ ОТ ТАМТАМА ДО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Кто хочет ограничиться знанием настоящего, не зная прошлого, никогда не поймет настоящего.

Готфрид Вильгельм Лейбниц

ГОНЦЫ, КОЛОКОЛА, КОСТРЫ

К обмену новостями (информацией по-современному) люди стремились во все времена, даже в доисторические. Общение между людьми начиналось с отдельных нечленораздельных звуков, жестов, мимики. Затем постепенно развилась человеческая речь. Но человек с человеком могли общаться даже посредством криков на расстоянии всего нескольких сот метров. Чтобы увеличить эту дальность (дальность передачи информации, или дальность связи, как говорим мы теперь), пришлось изобретать различные средства.

В Персии в VI веке до н.э. на высоких башнях стояли рабы со звучными голосами и криком передавали сообщения от одного к другому. В день якобы можно было передать до 30 сообщений на значительные расстояния. В боевых условиях часто выстраивали "живой телефон" из воинов, перекрикивавших приказы по цепочке. Гай Юлий Цезарь в "Записках о галльской войне" подтвердил, что и галлы в I веке до н.э. пользовались этим способом.

На расстояние, видимое глазом, сообщения передавали условными знаками.

В Древнем Китае пользовались гонгами. Аборигены Африки и Америки предпочитали деревянные выдолбленные или выжженные из стволов деревьев барабаны с круглыми или щелевыми отверстиями — тамтамы. По таким барабанам, длина которых достигала четырех метров, ударяли палочками из "железного дерева". Ударяя то быстрее,

то медленнее и с разной силой по разным местам тамтама, удавалось извлекать из него звуки разного тона. Комбинируя эти звуки, можно было передавать известия с достаточной быстротой на значительные расстояния. Звук барабанов слышался за несколько километров. Тамтамы имело каждое племя. Услышав сигнал соседей, дежурный барабанщик, как современный телеграфист, телефонист или радист, обязан был немедленно передать его дальше. Звуковая сигнализация в Африке сохранялась многие столетия. Звуки туземных барабанов слышали и английский путешественник Давид Ливингстон, исследовавший Центральную и Южную Африку в середине XIX века, и американский журналист Генри Стенли, отправившийся в Африку на поиски исчезнувшего Ливингстона.

Во время колониальных войн в Африке, например итало-эфиопской 90-х годов XIX века и англо-бурской 1899--1902 гг., благодаря "барабанному телеграфу" сведения о передвижениях войск захватчиков и другие военные известия быстро распространялись по всей территории, опережая официальные донесения курьеров, и умело использовались африканскими военачальниками.

Средствами звуковой сигнализации являлись также рожки, трубы, колокола, а после изобретения пороха — выстрелы из ружей или из пушек.

В Москве колокольным звоном извещали не только о возникновении пожара, но и указывали, в какую часть города спешить пожарным. "Буде загорится в Кремле, бить в три набата в оба края и по скору, загорится в Земляном городе — бить в набат на Тайнинской башне в один край". С колоколен на холмах необъятных российских просторов летели на десятки километров от села до села вести призыва, торжества или печали.

По мере развития человеческого общества звуковую сигнализацию постепенно оттесняла более совершенная — световая. Свет распространяется в миллион раз быстрее звука. Скорость звука в воздухе при температуре 0°С

и нормальном атмосферном давлении 331 м/с, а скорость света — почти 300000 км/с. При отдаленной грозе сначала мы видим молнию, а потом слышим гром, так как свет доходит до нас быстрее, чем звук.

Исторически первым средством световой сигнализации, естественно, были костры. Согласно легендам более чем трехтысячелетней давности костры дважды сослужили службу грекам в последнюю ночь их десятилетней войны с троянцами. Это было в XIII веке до нашей эры (до н. э.). Римский поэт Вергилий (I век до н. э.) в "Энеиде" рассказал о том, что, когда по совету Одиссея греки решили взять Трою* хитростью, они соорудили большого деревянного коня, уничтожили свой лагерь и отплыли в открытое море, якобы снимая осаду с города и возвращаясь домой. В то же время они направили к троянцам лжеперебежчика Синона. Хитрый Синон не только убедил троянцев ввести коня в город, но и помог греческим воинам ночью выбраться из чрева коня и заодно разложил большой костер у взломанных ими ворот Трои. Это был знак укрывавшимся неподолеку грекам, что путь в город открыт.

Значительно эффектнее с позиций истории развития средств связи выглядит вторая легенда, изложенная в трагедии греческого драматурга Эсхила (VI — V века до н. э.) "Агамемнон". Предводитель греческого войска царь Агамемнон, отправляясь в поход под Трою, обещал жене своей Клитемнестре дать ей немедленно знать, когда падет Троя и окончена будет кровопролитная война. Посланные им заблаговременно слуги должны были разводить костры на вершинах гор, расположенных на островах архипелага между Малой Азией и Грецией. Всего было девять таких промежуточных сигнальных (по современной терминологии — ретрансляционных) станций на расстоянии

---

* Древний город на полуострове Малая Азия; на месте Трои расположен современный турецкий город Куткале.

Авиационное производственное объединение
097870
Научно-техническая библиотека

550 км между горой Ида и Микенским замком. Дежуривший каждую ночь на крыше дворца раб однажды под утро увидел на далекой вершине горы яркий огонь. Так Клитемнестра первая узнала о падении великой Трои.

Финал легенды трагичен. Когда встреченный ликующим народом в ореоле славы Агамемнон возвратился домой, неверная жена Клитемнестра злодейски убила его, использовав полученную своевременно информацию в корыстных целях.

Световая сигнализация, несмотря на коварный поступок Клитемнестры, существовала на протяжении всей истории человеческого общества. Ею пользовались во время своих походов и карфагенский полководец Ганнибал (III — II века до н. э.), и римский полководец Гай Юлий Цезарь (I век до н. э.). Систему "огненной связи" применял предводитель Крестьянской войны в России 1670—1671 гг. донской казак Степан Разин. Вот как рассказывает об этом в своей книге "Степан Разин" писатель С. Злобин: "Посылай, Митя, лучших своих дозорных в Саратов разведать, что там творится. Может нас попусту только стращают, что войско. Мы тут постоим, дождемся, а чтобы нам времени не терять, пусть назад лошадей не гонят. На луговой стороне всегда стогов поставлено пропасть. Один стог ребята твои зажгут — стало в городе войско большое. Два стога зажгут — значит войска немного, да все-таки будет стоять против нас, а если три стога в степи загорится, то значит город преклонен к нам сам, и нам можно без боя идти".

К огневой сигнализации по ночам или к дымовой днем (в костер бросали сырые ветки, зеленые листья, траву) широко прибегали, в частности, казачьи сторожевые посты на южных границах России в XVII веке. Высоко между стволами деревьев или на курганах — на расстоянии прямой видимости — сооружали площадки, на которые укладывали сухой хворост и сырую траву. При появлении

неприятеля казаки знаменитой Запорожской Сечи зажигали цепочку костров, возвещая о грозящей опасности.

Любопытным примером оптической связи начинает первую главу своей увлекательной, хотя и не лишенной технических и исторических неточностей книги "Туда, где не слышно голоса" чешский популяризатор науки Людвик Соучек. Кавалерийский отряд белых завоевателей Америки попал в засаду, устроенную индейцами на горном плато Дальнего Запада, и был поголовно истреблен. Индейцы непрерывно следили за продвижением отряда в горах и передавали сигналы посредством дешевых зеркал, отражавших солнечный луч, сзывая на подмогу воинов различных племен со всех концов к месту предполагаемой схватки. "Зеркальной" сигнализацией пользовались и другие народы, в том числе европейские. Любопытна дата, к которой Л. Соучек относит свой рассказ об "Осколках зеркал, разгромивших дивизию...": 25 июня 1876 г. В этот день на восточном краю американского континента А. Г. Белл уже впервые публично демонстрировал изобретенный им телефон.

Вероятно, летопись световой сигнализации была бы неполной без упоминания о том, что жители архипелага, отделенного Магеллановым проливом от самой южной оконечности Южно-американского материка, также пользовались сторожевыми кострами, что дало основание английскому мореплавателю второй половины XVIII века Джеймсу Куку присвоить архипелагу образное наименование "Огненной Земли".

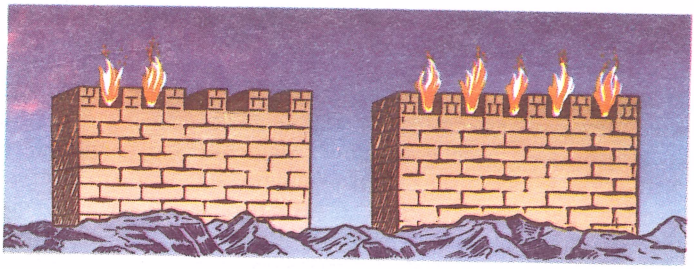
Однако хоть быстр, но слишком беден был язык костров и зеркал. С их помощью можно было передавать лишь предварительно обусловленные сообщения, преимущественно сигналы о самом факте возникновения опасности. Можно было предупредить о появлении врагов, но сколько их было, как они вооружены — передать не представлялось возможным. Костры несли мало инфор-

мации. Дополнительно приходилось посылать еще гонцов, которые и сообщали необходимые подробности.

Когда 13 сентября 490 г. до н. э. греческое войско, защищавшее свою родину и свободу под объединенным командованием десяти стратегов во главе с афинским полководцем Мильтиадом, разбило персидское войско царя Дария в битве на Марафонской равнине, в Афины был послан гонец. Пробежав без единой остановки 42 км 195 м, отделявшие местечко Марафон от Афин, и достигнув городских ворот, юноша — воин по имени Филиппид — воскликнул: "Радуйтесь, мы победили!" — и тут же замертво свалился на землю. Такова теперь дистанция марафонского бега на легкоатлетических соревнованиях.

Исключительно интересное и весьма прогрессивное для своего времени изобретение сделали в V веке до н. э. греческие философы Клеоксен и Демокрит, тот самый материалист Демокрит из Абгера, что стоял у истоков античной атомистики и первый произнес слово "атом" — едва ли не самое популярное слово современного лексикона, ставшее одним из символов XX столетия. Они предложили передавать на видимое расстояние отдельные буквы греческого алфавита посредством комбинации из двух факелов. С этой целью греческий алфавит, в котором двадцать четыре буквы, они записали в виде квадратной таблицы из пяти строк и пяти столбцов. В каждой клетке (за исключением последней) располагалось по одной букве. Передаточные станции представляли собой две стены с зубцами, между которыми имелось пять промежутков. Сообщения передавались факелами, вставляемыми в промежутки между зубцами стен. Факелы первой стены указывали на номер строки таблицы, а факелы второй стены — на номер буквы в строке.

Изображение на рисунке соответствует пятой букве второй строки — К. Вероятно, это был первый телеграфный код. Показывая букву за буквой, можно было пере-



A	B	Γ	Δ	E
Z	H	Θ	I	K
Λ	M	N	Ξ	O
Π	P	Σ	T	Υ
Φ	X	Ψ	Ω	

Стены связи, предложенные Клеоксеном и Демокритом, и первый телеграфный код

дать любое, причем не согласованное заранее сообщение. Однако из-за таких недостатков, как громоздкость, ограниченная работоспособность — только в ночное время, зависимость от погодных условий, "стены связи", описанные древнегреческим историком Полибием во II веке до н. э., практического применения не получили. И все же их можно считать прообразом телеграфа. Во всяком случае, термин "факельный телеграф" вполне уместен.

Первые восемнадцать из двадцати веков нашей эры немного прибавили к описанным выше средствам связи. Пожалуй, лишь организованную конную почту — "ямскую гоньбу", как ее называли на Руси. Создавались регуляр-

ные почтовые линии со станциями, где гонцы, именуемые в России вестниками, меняли лошадей. Скорость передвижения доходила до 150 и даже 200 км в сутки.

Известный путешественник Марко Поло, живший в XIII—XIV веках, назвал даже цифру 400 км, что составляло в среднем 16,5 км/ч. Д'Артаньян, один из популярнейших и любимых героев А. Дюма-отца, возвращаясь в 1625 г. от герцога Бекингэмского с подвесками Анны Австрийской, мчался во весь опор из местечка Сен-Валери, что юго-западнее Кале, в Париж. За 12 часов, трижды сменив по пути лошадей, проскакал он более 60 льё*, т.е. 250—255 км. Средняя скорость его передвижения составила 21 км/ч.

А. В Суворов во время своих героических походов 1768—1799 гг. располагал средствами связи не более быстрыми, чем те, которые имели в своем распоряжении Александр Македонский, Гай Юлий Цезарь и Ганнибал.

В России в 1801 г. было 3222 почтовых станции, на которых содержалось 37 840 лошадей.

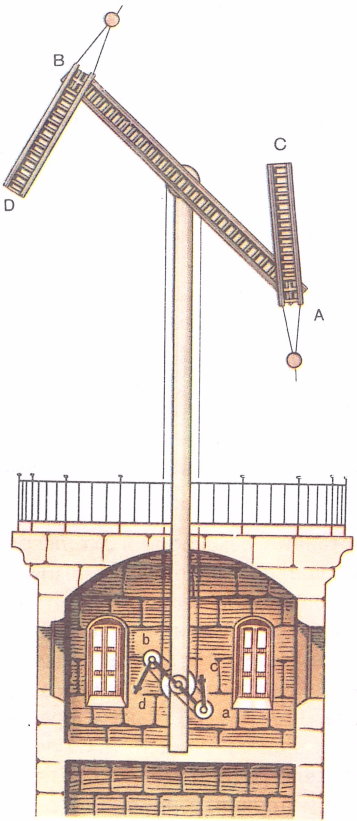
БАШНИ С РУКАМИ

Апофеозом доэлектрических средств связи стал оптический, или семафорный, телеграф. Изобрел его французский механик Клод Шапп (1763—1805). Впрочем, раньше него выдвинул идею визуального телеграфирования известный английский естествоиспытатель Роберт Гук (1635—1703) — автор закона упругости для твердых тел, названного его именем. В своем докладе Лондонскому королевскому обществу в 1684 г. он предложил вывешивать большие буквы на высоких помостах и разглядывать их в изобретенную к тому времени подзорную трубу. Но идея Гука не была воплощена в жизнь. Во Франции в 1690-х годах пробовали прикреплять буквы к медленно вращающим-

* Французская мера длины; льё почтовое равно 3,898 км.

ся крыльям ветряных мельниц, однако успеха эти попытки не имели. Лишь столетие спустя, летом 1790 г., приступил к созданию семафорного телеграфа К. Шапп со своими братьями. Эксперементы велись в течение трех лет. Наконец, летом 1793 г. комиссии Конвента Французской республики была успешно продемонстрирована опытная линия телеграфа длиной 6,5 км с тремя станциями — двумя оконечными и одной промежуточной. А еще через год была построена и введена в эксплуатацию первая в мире действующая линия семафорного телеграфа между Парижем и Лиллем длиной 225 км, состоявшая из 22 станций. По ней 15 августа 1794 г. в течение получаса — часа было передано первое сообщение о том, что республиканскими войсками освобожден город Ле Кенуа. Через две недели, 30 августа, телеграф принес в Париж другую радостную весть о взятии крепости Конде. Новое средство связи сразу же приобрело исключительное значение для республики, вынужденной сражаться с объединенными силами интервентов.

Что представляла собой станция семафорного телеграфа? Над крышей башни возвышался металлический шест, к которому крепилась вращающаяся на оси горизонтальная перекладина длиной 3—4 м. Сооружение напоминало современную телевизионную антенну, только, в отличие от нее, к обоим концам длинной перекладины были шарнирно прикреплены короткие (1 — 1,3 м) также вращающиеся вокруг своих осей перекладины — линейки. От перекладин в комнату, где сидел телеграфист, были протянуты тяги. Посредством рычагов и блочного приводного механизма телеграфист приводил в движение перекладины. Изменяя положение длинной перекладины и линеек на ее концах, можно было составить ряд фигур. Перекладины, окрашенные в черный цвет, были хорошо видны днем на фоне неба (конечно, не в туманную погоду). Ночью к ним



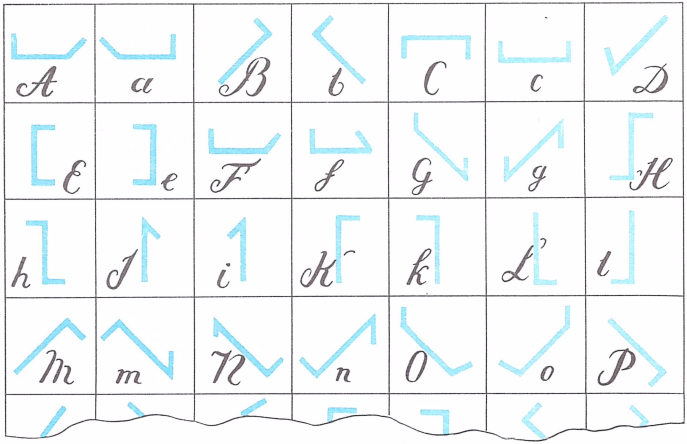
Устройство башни семафорного телеграфа

подвешивали зажженные лампы, но вскоре от ночных передач отказались из-за большого количества ошибок.

Между городами устанавливали ряд башен на расстоянии 8—12 км одна от другой. Для передачи телеграммы ее надо было сначала закодировать, то есть изобразить ее текст в виде условных положений перекладины и линеек. Эта работа выполнялась специальным кодировщиком. Затем телеграмма передавалась сигнальщику, или, иначе говоря, телеграфисту, который последовательно в соответствии с кодом устанавливал на передающей башне перекладину и линейки в требуемые положения. Телеграфисты всех последующих промежуточных башен повторяли эти комбинации. На каждой станции дежурили двое: наблюдатель с подзорной трубой и телеграфист. На последней (приемной) башне комбинацию записывали и,

пользуясь кодом, расшифровывали, после чего телеграмму доставляли адресату. Длинной перекладине придавалось одно из четырех фиксированных положений: горизонтальное, вертикальное, правый или левый наклон под углом 45°. Каждая линейка — правая и левая — могла занимать одно из восьми различающихся на 45° положений относительно перекладины — под углом 45, 90, 135° и т. д. В результате получалось 4×8×8 = 256 фигур, из которых Шапп отобрал 92 наиболее отчетливых. Они обеспечивали возможность передавать двумя сигналами любое из отобранных им 8464 наиболее употребительных слов. Эти слова были записаны в тетради на 92 пронумерованных страницах по 92 пронумерованных слова на каждой. Первый поданный сигнал означал номер страницы, второй — номер слова на указанной странице.

Автор фундаментальной исторической работы об оптическом телеграфе профессор Д. И. Каргин сравнивал три способа передачи сообщений: заранее обусловленными предложениями (вспомните дымовую сигнализацию Агамемнона, Степана Разина, казачьих форпостов); буквами алфавита, что и трудоемко, и к тому же доступно расшифровке; цифрами, которыми закодированы слова, фразы, и при необходимости также слоги и буквы. Последний способ более быстрый и, главное, обеспечивающий секретность, что было немаловажно для Франции периода наполеоновских войн. Известно, что Наполеон по достоинству оценил изобретение Шаппа, широко и успешно использовал семафорный телеграф для передачи различных военных приказов. Правда, если верить А. Дюма-отцу, то и цифровой код не давал полной гарантии от постороннего вмешательства. Граф Монте-Кристо за 25 000 франков подкупил служащего одной из промежуточных станций семафорного телеграфа и послал фальшивую депешу, в результате чего его злейший враг Данглар потерял миллион франков. Подкупленный служащий передал на после-



Часть алфавитного кода оптического телеграфа — по версии Л. Соучека

дующую станцию не те сигналы, которые появились на предыдущей, а те, что написал ему граф. Главу третью части четвертой своей знаменитой книги А. Дюма так и назвал "Телеграф". Любопытно, что как раз о телеграфе он в этой главе ничего не сказал, а описал его в следующей, имеющей совсем другое весьма отвлеченное название.

Вариант алфавитного кода описывает в своей книге Л. Соучек. Однако приведенный им в качестве иллюстрации рисунок и пояснение к нему вызывают сомнение. Он пишет, что ". . . меняя положение подвижной (т. е. длинной) перекладины и линеек, можно было составить 196 фигур. . . Шапп выбрал из них 76. . ." Почему именно 196? Выше было показано, что можно составить 256 фигур. Зачем использовать 76? В латинском алфавите 26 букв. Добавим 10 цифр, получается 36. На рисунке каждая буква дана в двух написаниях: прописном и строчном. Вряд ли в этом была надобность при передаче сообщений, особенно таким весьма трудоемким способом. Почему-то в при-

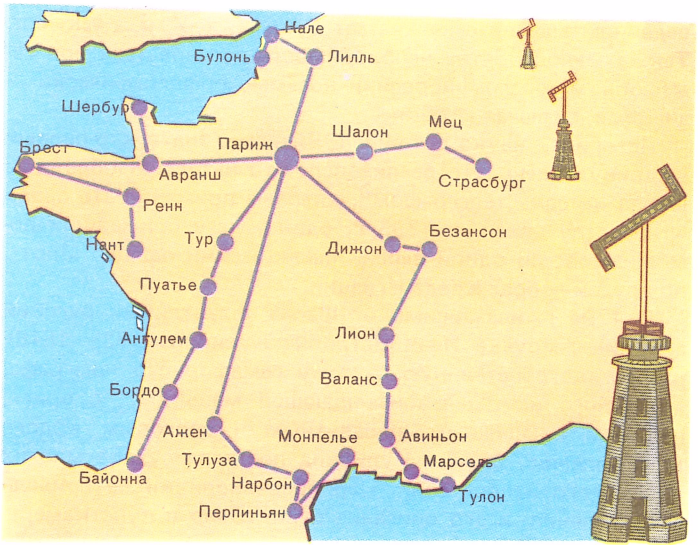
веденном алфавите не хватает букв *X*, *x*, *Y*, *y*, а также *d*. Также маловероятна необходимость пользоваться при семафорном телеграфировании восемью орфографическими *знаками, включая скобки.*

История — наука дотошная. Ей важно знать, кто первый выдвинул идею, кто реализовал, кто назвал. Изобретение Шаппа назвал "телеграфом", впервые применив это слово к средству связи, в 1793 г. один из его ближайших помощников: по одной версии французский офицер Миотт, по другой — брат Клода Игнаций.

В 1794 г. независимо от Шаппа талантливый русский механик-самоучка Иван Петрович Кулибин (1735—1818) разработал собственную систему семафорного телеграфа, названного им "дальноизвещающей машиной", с оригинальным сигнальным алфавитным и. слоговым кодом. К сожалению, проект Кулибина постигла судьба многих других его изобретений. Царские чиновники не придали ему значения, и его описание было сдано в кунсткамеру.

Оптический телеграф широко распространился во многих странах. В 1795 г. он был установлен в Швеции, в 1802 г. в Дании. За ними последовали Италия, Испания, затем Алжир и Египет. В Англии в 1796 г. был сооружен оптический телеграф по проекту лорда Джорджа Муррея (он во многом уступал телеграфу Шаппа). В 1892 г. была построена линия в Индии между Калькуттой и Ченором и вступила в действие правительственная линия семафорного телеграфа Берлин—Потсдам—Магдебург—Кельн—Кобленц—Трир. На трассе протяженностью 750 км была расположена 61 станция. В США первая линия длиной 104 км была сооружена в 1800 г. между Бостоном и островом Мартас-Вилъярд.

В одной только Франции к 1852 г. было сооружено около 5000 км линий оптического телеграфа с 550 башнями для соединения столицы с 28 наиболее крупными городами. Самая длинная из них Париж—Лион—Марсель—



Линии оптического телеграфа на территории Франции

Тулон протяженностью свыше 1000 км имела 100 станций.

Судьба самого изобретателя сложилась трагически. В 1805 г. Клод Шапп покончил самоубийством, не выдержав организованной против него травли. Его обвиняли в том, что он украл идею своего изобретения у английского министра Эджуорта, якобы уже в 1763 г. построившего оптический телеграф для личных нужд между Лондоном и Ньюмаркетом.

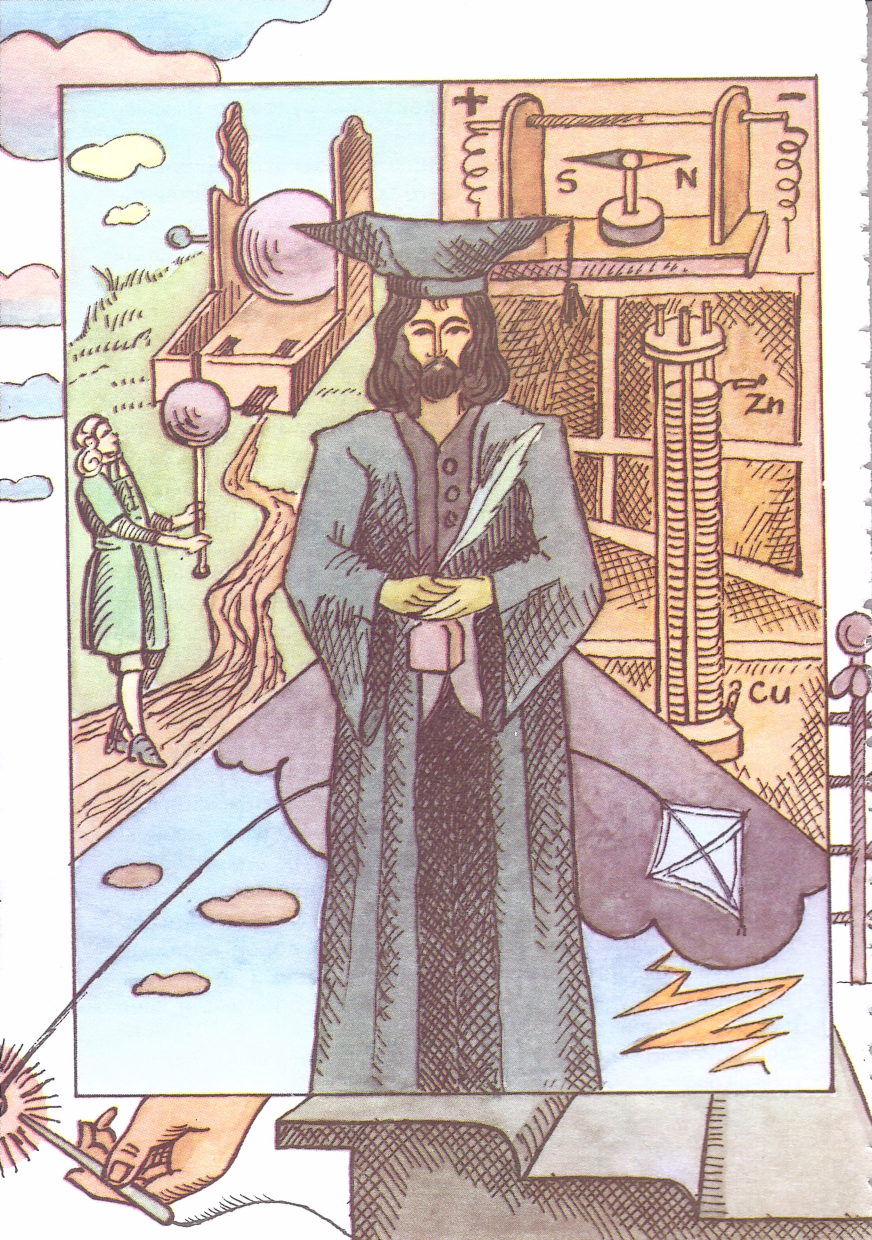
Царское правительство России долго не проявляло интереса к новому средству связи и занялось им лишь в конце первой четверти XIX века. Изобретение Кулибина к тому времени было уже забыто, и русские семафорные телеграфы, а в ту пору их в России называли "горизонтными", строились по различным проектам. Первая линия

связала Петербург со Шлиссельбургом в 1824 г. Она служила для передачи сообщений о движении судов по Ладожскому озеру.

В 1830-е годы к сооружению линий был привлечен французский инженер Жак Шато, сумевший существенно упростить телеграфный код. В 1833 г. была построена линия Зимний Дворец—Стрельна—Ораниенбаум—Кронштадт, в 1835 г. — линия Зимний Дворец—Царское село—Гатчина. В течение 1835—1838 гг. была сооружена самая длинная в мире линия семафорного телеграфа Петербург—Варшава. Еще год ушел на ее испытания. Официальное открытие линии круглосуточного действия состоялось 20 декабря 1839 г. На линии длиной 1200 км было 149 типовых башен высотой 21,5 м с металлическим шестом высотой 3 м. В штате линии числилось 1908 человек.

В архиве Музея связи им. А. С. Попова есть дело, датированное 1834—1837 гг. Любопытно его несколько загадочное название "Об уплате иностранцу Шато 120000 рублей за уступку России Телеграфической его тайны" (за продажу лицензии — сказали бы мы теперь). Семафорный телеграф существовал в России до 1854 г.

В зависимости от числа промежуточных станций и погодных условий на передачу сигнала затрачивалось от двух до 15 минут. По линиям длиной 1000—1200 км депеша из 45 — 100 знаков передавалась за 22—35 минут. Семафорный телеграф прослужил человечеству свыше 60 лет. Передача известий по нему с неизбежными перерывами при дожде, тумане, вьюгах и других атмосферных явлениях лишь отчасти удовлетворяла требованиям времени. По мере развития экономики, политических и культурных связей, строительства железных дорог возникла настоятельная потребность в более быстром и менее подверженном случайностям средстве связи. Впрочем, в лабораториях ученых уже со второй половины XVIII века шли поиски принципиально нового средства связи — электрического.


+
−
S
N
Zn
Cu

Глава 2

О ТЕХ, КТО ЗАКЛАДЫВАЛ ФУНДАМЕНТ

КОЕ-ЧТО ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ

И все-таки Фалес! Первые наблюдения магнитных и электрических явлений связывают с именем греческого философа Фалеса, жившего в городе Милете, что стоял на побережье Средиземного моря. Современники не случайно считали Фалеса (625—547 гг. до н. э.) мудрейшим из мудрых, учителем. Он был стихийным материалистом, родоначальником античной философии и науки, основателем так называемой милетской философской школы. Своим ученикам Фалес показывал следующий опыт. Брал моток шерсти и натирал им кусок янтаря. При этом в тишине слышалось слабое потрескивание. Затем постепенно подносил натертый камень к кучке легких предметов: стружкам, соломинкам, льняным ниткам. Уже с расстояния в несколько сантиметров эти мелкие предметы подскакивали и притягивались к камню. По-гречески янтарь назывался "электрон". Так, в VI веке до н. э. было открыто явление статического электричества.

По одной из версий явление это открыл не сам Фалес, а его юная дочь, которая случайно потерла янтарь о мех. Возможно, и даже вполне. Как янтарь, так и мех ближе к сферам интересов молодой женщины, нежели мужчины. Скорее всего, о загадочном свойстве янтаря знали еще и раньше. В древности греческие женщины пользовались веретеном, сделанным из янтаря или украшенным им. Вслед-

ствие трения шерстяной пряжи о веретено янтарь приходил в особое состояние, в котором он сначала притягивал, а затем отталкивал от себя отделявшиеся от шерсти мелкие волокна. Так, прядение сопровождалось какой-то самопроизвольной забавной игрой. И все же Фалес первый, кто пытался осмыслить способность натертого янтаря обладать кратковременной искусственно вызванной силой притяжения. Фалес сопоставлял эту особенность со свойством куска магнитной руды притягивать железные опилки. Наконец, он первый описал оба явления.

Немало великих, да и рядовых открытий приписывают случайности. Это выглядит крайне занимательно, эффектно, иногда даже драматично. Однако открытие возникает, как правило, тогда, когда случайность венчает цепь закономерностей, усилия направленных поисков, самозабвенного, порой изнурительного труда. Прав был Аристотель (IV век до н.э.), изрекший: "Случай помогает просвещенному уму". К проблеме "случайно—закономерно" мы еще не раз обратимся в последующих главах. Что же касается статического электричества, то человечество снова заинтересовалось им лишь двадцать два века спустя.

Придворный врач — отец магнетизма. Современник Шекспира и Галилея лейб-медик английской королевы Елизаветы Уильям Гильберт (1544—1603) усердно искал средства лечения различных болезней. С этой целью он многие годы изучал средневековые арабские и даже древнегреческие и древнеримские рукописи. Заинтересовавшись описанием таинственных свойств магнитной руды и не находя им убедительных объяснений, Гильберт сам взялся за постановку многочисленных опытов с магнитами. Изучению магнитов он посвятил около двадцати лет и открыл ряд их свойств. При этом он пришел к пониманию земного магнетизма: "Очевидно, вся Земля — гигантский магнит! Полюсы земного шара — это полюсы

магнита". Прочитав в одном из манускриптов описание опытов Фалеса с янтарем, Гильберт, в свою очередь, обнаружил, что свойством притягивать мелкие тела обладают и другие вещества: алмаз, сапфир, рубин, опал, аметист, а также стекло, фарфор, сера. В 1600 г. был опубликован бессмертный труд Гильберта "О магните, магнитных телах и о большом магните — Земле. Новая физиология, доказанная множеством аргументов и опытов".

Заслуги Гильберта неоспоримы. Ученые единодушно признали его отцом науки о магнетизме и электричестве. Кстати, именно Гильберт впервые в истории употребил термин "электричество", написав: "Электрические тела — те, которые притягивают таким же образом, как янтарь". Его именем названа единица магнитодвижущей силы (гильберт, Гб) в системе СГС.

Первый источник электричества. Исследования электричества, начатые Гильбертом, продолжил полвека спустя немецкий физик — бургомистр Магдебурга Отто фон Герике (1602—1686), которого современники называли "германским Галилеем" и чей эффектный опыт по доказательству существования атмосферного давления вошел в историю под названием опыта с "магдебургскими полушариями". Около 1660 г. он впервые соорудил прототип электростатической машины, представлявшей собой шар из серы "величиной с детскую голову", насаженный на железную ось с рукояткой. Пробуя различные способы натирания, то есть электризации шара, Герике сделал случайное открытие, что для этой цели хорошо подходит его собственная рука. После этого Герике сознательно натирал шар ладонями. Опять случайное открытие. . . , но в цепи закономерных поисков. Герике же впервые обратил внимание на явление электрического отталкивания: пушинка, притянутая натертым шаром, через некоторое время отскакивала от него. Сняв со штатива шар и двигаясь с ним в руках, он заставлял

пушинку плавать в воздухе в желаемом направлении. Наконец, Герике убедился в том, что "электрическая сила" способна распространяться по льняной нитке на несколько десятков сантиметров. Эти и другие свои исследования по электричеству он описал в книге "Новые, так называемые "магдебургские" опыты. . .", вышедшей в 1672 г.

Чтобы изготовить серный шар, Герике заливал расплавленную серу в стеклянный шарообразный сосуд и, когда сера застывала, раскалывал стеклянную оболочку. Если бы он этого не делал! Лишь в 1709 г. член Лондонского королевского общества Фрэнсис Гауксби (1666—1713) усовершенствовал электростатическую машину, заменив серный шар. . . стеклянным. Самому Герике до этого не довелось дожить. Разве рассказанное не пример случайности, которая не произошла? Назовем ее антислучайностью. Всяко бывало в истории техники. И хотя подобные антислучайности порой и притормаживали техническое развитие (в данном случае на целых полстолетия), изменить его закономерность они не могли.

Электричество "бежит" по. . . веревке. Как ни парадоксально, но в первых опытах по передаче электрических зарядов на расстояние использовался не проводник. Впрочем, 31 мая 1729 г., когда член Лондонского королевского общества Стефен Грей (1670—1736) впервые осуществил передачу статического электричества по пеньковой веревке, опущенной с балкона его дома, на расстояние 8 м, ученые еще ничего об электропроводящих и изолирующих материалах не знали. Стоя на балконе, Грей держал в одной руке стеклянную трубку длиной почти в метр и диаметром 5 см, из которой через пробку выходила и свисала бечевка с костяным шариком на конце.

Когда Грей свободной рукой натирал трубку шелковой тряпкой, заряды стекали по бечевке вниз, и к шарику притягивались легкие предметы. Через несколько дней

опыт был повторен при расстоянии в несколько десятков метров, причем бечевка поддерживалась в горизонтальном положении посредством шелковых нитей. Хотя Грей и показал, что "электрическое нечто" может передаваться от одного тела к другому на расстояние до нескольких сот метров по веревке, она все же — плохой проводник. Скорее всего, в его опытах она была намылена или просто увлажнена.

Грей вскоре обнаружил, что тонкая медная проволока также проводит электричество, а шелковая нить — нет. Он первый предложил все тела в зависимости от их отношения к электричеству разделить на два класса. Те вещества, которые Гильберт называл "электрическими телами" — янтарь, стекло, драгоценные камни, сера, фарфор и некоторые другие, как раз плохо передают электричество. Сегодня мы называем их диэлектриками. И, наоборот, "неэлектрические тела" Гильберта, прежде всего металлы, являются хорошими проводниками электричества. Так, в 1729 г. было открыто явление электропроводности.

Кто открыл удивительную банку? Если в стеклянную банку налить ртути, винного спирта или воды, вставить металлический стержень и сообщить ему электрический заряд, держа банку в одной руке, то в момент прикосновения другой руки к стержню возникает электрическая искра и ощущается сильное сотрясение руки. В 1746 г. одна за другой появились две журнальные статьи. Автор первой, Эвальд Георг Клейст (1700—1748) из Померании, писал, что указанное явление было им обнаружено в октябре 1745 г. В другой статье голландский физик из Лейдена профессор Питер ван Мушенбрук (1692—1761) сообщал, что описанная Клейстом банка ранее уже была сооружена им, Мушенбруком, в Лейдене. Вскоре претендовать на первенство открытия стал и студент Мушенбрука Кюнеус (или Канеус). Возможно, не зная кому

по справедливости отдать предпочтение, ученые по предложению французского физика Жана Нолле назвали удивительную банку по месту ее первого открытия лейденской. Лейденская банка представляла собой первый в мире простейший конденсатор.

Электричество из воздуха. Во многом способствовали проникновению в тайну природы электричества труды ученых последующего десятилетия, в первую очередь русских — Михаила Васильевича Ломоносова (1711—1765) и Георга Вильгельма Рихмана (1711—1753), — а также американца — изобретателя громоотвода, точнее молниеотвода, Бенджамина Франклина (1706—1790). Еще в 1749 г. Франклин отмечал много общего между "электрической жидкостью" и молнией, а летом 1752 г. провел свой опыт с бумажным змеем. Во время грозы он запустил змея с заостренным металлическим стержнем. К стержню была прикреплена веревка, на конце которой висел массивный ключ. Веревку ученый держал за привязанную к ней шелковую ленту. "Когда змей и веревка намокнут от дождя и вследствие этого станут проводить электричество, — писал Франклин, — то поток его обильно исходит из ключа. . . От него можно зарядить банку". Так и произошло в действительности. Между ключом и шариком лейденской банки проскакивали голубые искры.

Энциклопедист Ломоносов, занятый многими проблемами естествознания, да и не только естествознания, электричеством занимался относительно немного. Но и того, что он сделал, достаточно, чтобы поставить Ломоносова в ряд с выдающимися физиками-электриками. Ломоносов и Рихман тоже верили в электрическую природу молнии. К своей концепции атмосферного электричества Ломоносов пришел независимо от Франклина. Вот что сказал он Рихману, когда оба они прочитали в журнале об опыте Франклина: "В теории моей о причине электрической силы в воздухе я господину Фраклину ничего не должен". И вот, что писал он годом ранее:

"Вертясь, Стеклянный шар дает удары с блеском,
С громовым сходственным сверканием и треском.
Дивился сходству ум; но, видя малость сил,
До лета прошлого сомнителен в том был. . ."

Основные положения своей теории атмосферного электричества Ломоносов сформулировал в речи "Слово о явлениях воздушных, от электрической силы происходящих", произнесенной им в Академии наук в 1753 г.

О Рихмане чаще упоминают как о трагической жертве шаровой молнии, которой он был убит во время опыта по наблюдению за грозой. Рихман исследовал электризацию и электропроводность тел, открыл явление электрической индукции, изобрел электроизмерительный прибор для количественного сопоставления электрических зарядов — "электрический указатель".

ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ ВЫХОДИТ НА СЦЕНУ

Итак, к середине XVIII века электротехники имели в своем распоряжении: пусть весьма слабый, но все же источник статического электричества — электростатическую машину; аккумулятор зарядов — лейденскую банку; примитивный, но чувствительный приемник — бузиновые шарики и, наконец, представление о том, что электрические заряды можно передавать на расстояние, причем лучше не по веревке, а по металлическому проводнику.

Появились технические предпосылки для того, чтобы задуматься над системой электрической связи. Два компонента системы — передатчик и приемник — имелись. Недоставало третьего. . . Особенность информации в том, что, как правило, она, информация, возникает в одном месте, а используется в другом. Поэтому понятия информации и ее передачи на расстояние практически неотделимы. Следовательно, третьим компонентом системы, посредством которого можно было преодолеть расстояние

между приемником и передатчиком, должны были стать линии электрической связи.

Идеи. . . идеи. . . идеи. Авторы некоторых популярных книг по истории электротехники и, в частности, электросвязи называют первым, кто выдвинул идею передачи электрических сигналов на расстояние по проводам, некоего Ч. М. Именно Ч. М., ибо только инициалами подписал он свою статью, опубликованную в шотландском журнале "The Scot's Magazine" 1 февраля 1753 г. Впоследствии выяснилось, что Ч. М. это — Чарльз Морисон, шотландский ученый из города Ренфрю. По другим сведениям его фамилия была Маршалл. Однако первым, кто посчитал возможным передачу электричества вообще, был не он.

Нужно ли удивляться тому, что профессор филологии Лейпцигского университета Иоганн Винклер (1703—1770) увлекся опытами по электричеству? До современной узкой специализации наук было еще далеко, а электротехника стремительно входила в моду. Винклер прежде всего известен тем, что усовершенствовал электрическую машину. Вместо того чтобы натирать стеклянные шары, цилиндры или диски руками, он применил для этой цели подушечки из шелка и кожи. Подушечки, наполненные конским волосом, прижимались к стеклянной поверхности пружинами. Новая машина, по словам самого Винклера, ". . . дала возможность извлекать сильные электрические искры". О своих исследованиях он сообщил в книге "Соображения о свойствах, действии и природе электричества, а также описание двух новых электрических машин", вышедшей в Лейпциге в 1744 г.

Винклер был первым, кто пришел к мысли о передаче электрических зарядов на большие расстояния. Он считал, что "с помощью изолированного подвешенного проводника возможна передача электричества на "край света" и что благодаря этому оно станет "осязаемым". Наверное это было первое в истории упоминание о линии

как части электротехнической системы и первое признание ее необходимости. Одновременно посчитаем его и первым упоминанием изолированного проводника, хотя ни о материале проводника, ни о материале изоляции ничего не было сказано.

Винклер первый высказал предположение, что электрическая цепь может замыкаться через воду — "заземляться". В дальнейшем он соорудил элементарное разрядное устройство, а также первую в истории электрическую батарею из трех лейденских банок. Говоря о возможной передаче электричества на расстояние, Винклер указывал на ее большую скорость, "которая превосходит даже скорость полета пули". Занятно выглядит это сравнение с позиции сегодняшних знаний. Школьники старших классов знают, что скорость полета пули 900—1000 м/с, скажем 1 км/с. "Электричество", то есть электромагнитная волна, распространяется в воздухе со скоростью 300 000 км/с. В кабеле связи скорость распространения электромагнитных волн несколько ниже (об этом знают студенты) и составляет примерно 250000 км/с, а значит, "превосходит" скорость полета пули в четверть миллиона раз.

Вернемся к Морисону, или Маршаллу, который был первым, кто описал возможную систему электросвязи. Он предложил протянуть между двумя пунктами на местности столько параллельных проволок, сколько букв в алфавите, то есть 26. Каждой букве соответствовала определенная проволока. Проволоки в обоих пунктах прикреплялись к стеклянным стойкам, концы их свисали. Надо полагать, что Ч. М. имел в виду неизолированные, или как их чаще называют, голые проволоки, так как указывал на расстояние между ними в один дюйм, то есть 2,5 см. На передающем конце следовало прикоснуться к проволоке, соответствующей требуемой букве, кондуктором* электростатической машины.

---

* Металлический стержень, на котором накапливаются снимаемые со стеклянного цилиндра или диска заряды.

На противоположном — приемном — конце проволоки заканчивались бузиновыми шариками, под которыми на расстоянии 3—4 мм были положены буквы, написанные на бумажках или ином легком материале. При касании проволоки кондуктором наэлектризованный шарик на ее противоположном конце должен был притянуть к себе нужную букву. Это действительно был первый проект электрического телеграфа. Однако в реальную конструкцию он не был воплощен.

Курьезное смешение произошло в уже упоминавшейся книге Л. Соучека. Называя Винклера первым, кто открыл (мы бы подправили: умозрительно предсказал) передачу электрического тока по проводам, Л. Соучек сдвигает это открытие на девять лет, относя его к 1753 г. — году опубликования проекта Морисона.

У Винклера и Морисона оказалось немало идейных последователей. "Идейных" в двояком смысле: во-первых, потому что последователи разделяли идею передачи электрических сигналов на расстояние, во-вторых, потому что дальше идей и у них дело не пошло. И все же развитие идей телеграфирования, пусть умозрительных, способствовало достижению впоследствии практических результатов.

В потоке абстрактных идей, наконец, высказываются первые соображения о конструкции линии связи. Во французском журнале "Journal de Paris" № 150 от 30 мая 1782 г. было помещено письмо анонимного автора, предлагавшего: "Соединить два пункта позолоченными железными проволоками, проложенными каждая в заполненном смолой деревянном желобе. Все желоба закопать в землю. Между каждой парой проволок на приемном конце укрепить вырезанную из фольги букву, которая под воздействием разряда лейденской банки давала бы в темноте свечение".

Число необходимых пар проволок и лейденских банок должно было равняться числу букв алфавита, а именно двадцати четырем. Правда, сам автор считал возможным уменьшить это количество до пяти, если разряжать лейденские банки в различных комбинациях по двум парам проводов. В номере того же журнала от 15 июня 1782 г. содержится интересное предложение по усовершенствованию линии: "Мы сможем даже проложить большее количество проволок в одном деревянном канале с известными мерами предосторожности, обеспечивающими изолирование их друг от друга". Но как практически осуществить "меры предосторожности" автор еще не представлял.

В это же время, 22 июня 1782 г., женевский физик Жорж Луи Лесаж (1724—1803) писал своему проживавшему в Берлине другу, что он, Лесаж, еще 30—35 лет назад изобрел электрическую систему "моментальной корреспонденции", не сложнее той, о которой сообщалось в мае. Торопясь утвердить свою причастность к созданию электрической связи, Лесаж в сентябрьском номере журнала описывает собственную систему. Оригинальным был проект прокладки 24 медных проволок в общей глиняной трубе, внутри которой через каждый 1,8—2 м устанавливались бы перегородки — шайбы из глазурованной глины или стекла. Эти шайбы должны были иметь по 24 отверстия, через которые пропускались бы проволоки, поддерживаемые, таким образом, параллельно и изолированно одна от другой.

По одной неподтвержденной, но весьма вероятной версии Лесаж в 1774 г. провел несколько удачных опытов телеграфирования точно по схеме Морисона — с электризацией бузиновых шариков, притягивающих буквы. При этом передача одного слова занимала 10—15 минут, а фразы — 2—3 часа. Итак, от идеи до первого опыта прошел 21 год. О том, какой конструкции и какой длины линия

использовалась в этом опыте, неизвестно. Скорее всего, опыт Лесажа, как и подавляющее большинство "телеграфических" опытов того времени, носил, по выражению историка телеграфии А. В. Яроцкого, "домашний характер".

Пожалуй, первым, кто заговорил о технологии изготовления изолированных проводов, был проживавший в Англии итальянский ученый Тиберио Кавалло (1749—1809). Он предлагал натянутую отожженную медную или латунную проволоку нагревать в пламени свечи или просто куском раскаленного железа, покрывать смолой и обматывать полотняной лентой, также равномерно покрытой смолой. Изолированная таким методом проволока дополнительно защищалась чехлом из шерсти. Ну, чем не основные элементы кабельного изделия: токопроводящая жила, изоляция, защитный покров! Провод предполагалось изготовлять отрезками длиной по 6—9 м. Места соединения отрезков между собой следовало тщательно обматывать промасленным шелком. (Чем не прообраз современной соединительной муфты?) По времени предложение Кавалло можно отнести к середине или ко второй половине 1780-х годов.

Любопытно отношение научной общественности того времени к попыткам телеграфирования посредством электричества. Профессор И. Бекманн из Карлсруэ в 1794 г. писал: "Чудовищная стоимость и другие препятствия никогда не позволят серьезно рекомендовать применение электрического телеграфа". О, это пресловутое "никогда!". Сколько раз, а точнее, десятков и сотен раз непреодолимым, казалось бы, барьером стояло оно на пути внедрения открытий и изобретений, сделанных человечеством. И сколько (к счастью!) раз казалось бы авторитетное "никогда" было опровергнуто целеустремленностью, трудом, непоколебимой верой в прогресс многочисленной армии ученых и инженеров. Проживи

профессор Бекманн после публикации своей книги еще с полстолетия, он бы удивился тому, как электрический телеграф "зашагал", стремительно набирая темп, по всему свету.

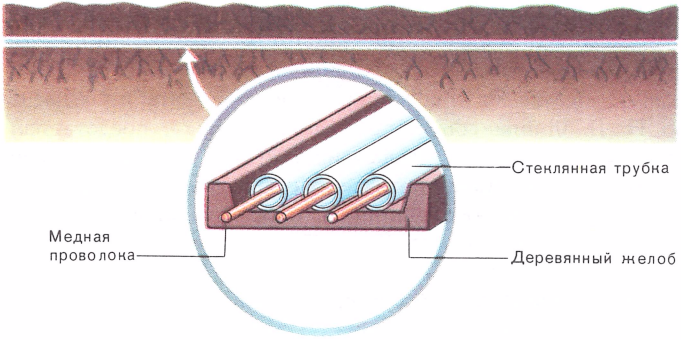
Первые линии. Испанский врач (снова врач, а не физик и не инженер, как порой о нем написано в книгах) Франсиско Сальва (1751—1828) доложил Барселонской академии наук в 1795 г. о своей системе электростатического телеграфа и рекомендуемой им линии связи. Сальва также предполагал использовать для каждой буквы самостоятельную пару проволок. Но самое интересное дальше: "Все-таки нет необходимости поддерживать проволоки удаленными друг от друга (вспомним глиняные распорки Лесажа. — *Прим. авт.)*, они могут быть скручены в кабель и подвешены на большой высоте. Во время моих первых опытов с кабелями этого вида каждая проволока обматывалась пропитанной смолой бумагой. Затем все вместе проволоки скручивались и обматывались многими слоями бумаги. Таким образом предотвращалась утечка электричества". Вот оно — первое в истории электросвязи, да и вообще электротехники упоминание слова "кабель". И вот его первая конструкция. Согласно современной классификации это был еще не кабель, а "провод воздушной подвески". На восемьдесят с лишним лет предвосхитил Сальва применение пропитанной бумажной изоляции. Он первый предложил не располагать изолированные жилы параллельно, а скручивать их все вместе в пучок. В немецком переводе доклада Сальвы употреблен термин "geschnürt" ("гешнюрт"). (Очень долгое время, вплоть до последних лет, скрутка всех жил в одну сторону называлась шнуровой или дикой. Постепенно входит в обиход ее технически более правильное название: "пучковая".) Оболочку для своего "кабеля" Сальва не предусматривал, видимо, возлагая ее роль на многослойную бумажную обмотку по скрутке.

Особого внимания заслуживает следующее предсказание Сальвы: "Можно так изготовить, а именно изолировать кабель, что он будет непроницаем для воды. Такие кабели можно будет прокладывать на дне морей, и в них редко будут возникать повреждения". Поразительная точность предвидения! Ведь Сальва еще не знал материала, которым полстолетия спустя станут изолировать десятки и сотни тысяч километров подводных телеграфных кабелей, прокладываемых во всех морях и океанах мира.

В 1796 г. по проекту Сальвы военным инженером А. А. Бетанкуром, выполнившим впоследствии в России ряд выдающихся строительных проектов, в частности ферм для Исакиевского собора в Петербурге и Манежа в Москве, была сооружена телеграфная линия длиной 42 км между Мадридом и Аранхуэсом. О том, что собой представляла эта линия, как она использовалась и долго ли просуществовала, сведений нет. Скорее всего она состояла из неизолированных (голых) воздушных проводов. Во времена Сальвы еще не умели накладывать бумажную изоляцию на проволоку методом машинной обмотки. Машины для этой цели были сконструированы спустя почти столетие. Изолировать же 48 проволок по 42 км длиной каждую — всего 2000 км — вручную нереально. Есть сведения, что в 1798 г. там же была построена вторая линия специально для личного пользования королевской семьи. Это были первые в мире действующие воздушные линии связи.

Может быть сказанное прозвучит излишне восторженно, но возьмем на себя смелость "на основании изложенного", как принято писать в официальных документах, назвать Ф. Сальву пионером линий электросвязи, в частности воздушных.

Забегая вперед, скажем, что следующий шаг на пути развития линий связи был сделан почти двадцать лет спустя. Свою лепту внес лондонский купец Фрэнсис Ро-



Первая подземная опытная линия связи 1816 г.

нальдс (1788—1873). Оставаясь верным принципам электростатического телеграфа, он в 1816 г. начал проводить опыты в своем саду, расположенном в пригороде английской столицы, и в 1823 г. опубликовал брошюру с изложением полученных результатов. В качестве передающей линии Рональдс пробовал и воздушную, и подземную.

Искусственная воздушная линия была устроена следующим образом. Две большие деревянные рамы располагались на расстоянии немногим менее 20 м одна от другой. На рамах укреплялось по 19 горизонтальных реек с 39 крючками на каждой, к которым подвешивалась на шелковых нитях (прообраз будущих изоляторов) голая проволока. Длина однопроводной линии составила 13 км.

Однако сам Рональдс был сторонником прокладки подземных линий. В том же саду он вырыл траншею глубиной 1,2 м и общей длиной около 150 м, куда уложил пропитанный смолой деревянный желоб сечением 50×50 мм. На дне желоба были расположены стеклянные трубки с пропущенными через них медными проволоками.

Сверху желоб покрывали просмоленными досками и затем засыпали землей. Так появился практически доступный в то время способ изолирования подземных проводов. Достоинство способа было через десять лет отмечено П. Л. Шиллингом в докладной записке, представленной им в "Комитет, высочайше утвержденный для рассмотрения электромагнетического телеграфа". Среди своих предшественников Шиллинг особо выделяет Рональдса, как предложившего "новый способ уединения металлических проводников".

Уже упоминалось об отношении к электрической связи немецкого ученого Бекманна. А вот текст официального уведомления Британского Адмиралтейства, направленного Рональдсу в ответ на предложенную им систему электрического телеграфа: "Их светлости вполне удовлетворены существующей системой телеграфа (имеется в виду семафорный. — *Прим. авт.*) и не намерены заменять ее другой".

ИСТОРИЧЕСКИЕ ПАРАДОКСЫ

Закон Кулона, открытый, оказывается, не Кулоном. Закон этот по праву считается исторически первым законом электротехники. Он позволяет количественно оценить силу взаимодействия (отталкивания или притяжения) между двумя заряженными частицами, например наэлектризованными бузиновыми шариками. Сила прямо пропорциональна произведению самих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Если первоначальное расстояние между двумя одноименно (положительно или отрицательно) заряженными шариками уменьшить вдвое, то сила, отталкивающая их один от другого, возрастет вчетверо. Закон был экспериментально установлен французским физиком Шарлем Огюстеном Кулоном (1736—1806) в 1785 г. и на-

зван его именем. Имя Кулона присвоено также единице количества электричества, или единице заряда, которая сокращенно обозначается Кл.

Сегодня мы знаем, что основной закон электростатики первым открыл не Кулон, а английский физик и химик Генри Кавендиш (1731—1810), член Лондонского королевского общества. Относится его открытие к 70-м годам XVIII века. Но Кавендиш своих работ по электричеству не публиковал. Более ста лет рукописи пролежали в библиотеке Кембриджского университета в Англии, пока их не извлек Дж. К. Максвелл и не напечатал в конце своей жизни — в 1879 г., когда прошло уже без малого столетие после публичного сообщения Кулона об установленном им законе.

Чем объяснить чудачество Кавендиша? Писатель Даниил Гранин в своей повести "Размышления перед портретом, которого нет" высказывает предположение, что ". . . в чудачестве его (Кавендиша. — *Прим. авт.*) блестит лезвие вызова тем, кто смотрит на науку исключительно как на источник технологических и военных ценностей. И тем, кто поддался ажиотажу узкого практицизма — скорей, скорей опубликовать, застолбить, лишь бы выиграть в конкурентной борьбе".

Не слишком ли упрощенно? Чего достиг Кавендиш своим умолчанием? Затормозил развитие науки, не выполнил своего долга ученого. Открытый им закон оставался в течение примерно десяти лет (известно, что электротехникой он начал заниматься в 1771 г.) "вещью в себе" вместо того чтобы стать "вещью для всех".

Что плохого в стремлении большинства ученых скорее опубликовать результаты своих исследований, "застолбить" их? Кажется, Фарадей назвал три обязательных критерия подлинно научной работы: ее свершение — получение результатов, описание (выражаясь по-современному, составление отчета) и публикацию. Научная дея-

тельность, кроме всего прочего, соревновательна. Наподобие спорта. Но в отличие от спорта, где наряду с победителем на пьедестал почета поднимаются и те, кто занял второе и третье места, в соревновании на научное первенство есть только один — первый приз, второго не бывает. Не продемонстрируй публично Шиллинг свое творческое детище, изобретателем телеграфа считался бы Морзе, не доложи своевременно Попов о своем грозоотметчике, пальма первенства в изобретении радио была бы отдана Маркони.

Что же побудило Кавендиша к столь странному поступку? Может быть, щепетильность? Черта, в еще большей степени, чем честолюбие, присущая истинному ученому. А Кавендиш был большой ученый. Возможно, он до конца не был убежден в достоверности полученных результатов, в их значимости для науки. Весьма вероятно, что его сильнее влекли разнообразные исследования в области химии, где он совершил немало открытий, за которые признан одним из основателей химии газов. Как понять нюансы психологии его творчества? Но уж если он хотел своим поступком бросить вызов власть имущим, как полагает Гранин, то зачем было публиковать результаты своих химических исследований, представлявшие в ту пору практически куда большие "технологические и военные ценности", чем закон отталкивания или притягивания двух бузиновых шариков. Нет, что-то "не связывается" в такой концепции.

Гальванический элемент, изобретенный не Гальвани. На протяжении многих столетий вплоть до 1785 г. были известны только явления статического электричества. Промышленный переворот в XVIII веке дал мощный толчок развитию различных отраслей науки об электричестве. Изучение электрических явлений все больше расширяется, ими интересуются не только физики, но многие естествоиспытатели и в особенности врачи, пы-

тавшиеся применить электричество для лечебных целей. В числе последних оказался итальянский анатом профессор медицины в Болонье Луиджи Гальвани (1737—1798).

Во время одного из опытов по изучению нервной системы лягушки в сентябре 1796 г. ученик Гальвани и его жена обратили внимание на странное явление. При касании острием скальпеля бедренного нерва препарированной лягушки мышцы ее конечностей конвульсивно сокращались. Это происходило в те моменты, когда стоящая на столе электростатическая машина давала искры. Заинтересовавшись, Гальвани провел целую серию опытов. Он касался нервов лягушки различными металлами и неметаллическими предметами: стеклом, смолой, сухим деревом. При касании металлами спазматические содрогания возникали, а при касании телами, не проводящими электричества, явления не повторялись. В конце концов Гальвани пришел к мысли о существовании в теле лягушки некоего "животного электричества". Тело любого животного, считал он, является своеобразной лейденской банкой, способной на непрерывное повторное действие. Это предположение в форме теории Гальвани изложил в "Трактате о силах электрических при мышечном движении", напечатанном в 1791 г.

Повторяя и видоизменяя в течение 1792 г. заинтересовавшие всех своей необычностью опыты Гальвани, уже известный к тому времени итальянский профессор физики Алессандро Вольта (1745—1827) пришел к совершенно иному заключению. Источником электричества, по его мнению, являлась не лягушка, а контакт двух обязательно разнородных металлов. "Я утверждаю, — говорил Вольта в 1793 г., — что лапки лягушки — не более как чувствительный электроскоп". А еще через год он писал: "Я уже давно убедился, что все действие исходит из металлов, от соприкосновения их. . . На этом основании я считаю себя вправе приписывать все новые элект-

рические явления металлам и заменить название "животное электричество" выражением "металлическое электричество". Вот тут-то и разгорелся исторический спор между Гальвани и Вольтой и их единомышленниками о природе обнаруженного электричества. Ученые разделились на два лагеря. "Животное или металлическое электричество?", "Гальвани или Вольта?" — под такими кричащими заголовками стали появляться статьи и заметки в научных журналах. Победил, как известно, Вольта.

Опыты Вольты завершились в 1800 г. созданием первого источника непрерывного постоянного электрического тока, составленного из чередующихся медных и цинковых кружков (пар), переложенных суконными прокладками, смоченными водой или кислотой. Так был изобретен элемент, в котором химическая энергия превращалась в электрическую. В первое время его называли "вольтов столб", но впоследствии он получил официальное наименование гальванического элемента. Подобные элементы в виде сухих батарей, в которых применен электролит не в виде раствора, а в форме пасты, широко распространены в настоящее время.

Сенсационные доклады и лекции Вольты в Лондоне и Париже в марте—ноябре 1800 г. явились эффектной концовкой развития электротехники XVIII века.

Летом того же года лондонский врач Антони Карлейль (1768—1840) со своим другом инженером Уильямом Никольсоном (1753—1815), проведя опыты с вольтовым столбом, открыли новое явление: при прохождении тока через воду выделялись газовые пузырьки — это были кислород и водород. Так впервые был осуществлен электролиз воды.

Вольтова дуга, зажженная не Вольтой. Профессор физики Петербургской медико-хирургической академии Василий Владимирович Петров (1761—1834) решил соорудить "такой огромной величины батарею, чтобы оной

можно было надежнее производить новые опыты", каких еще не производил никто из физиков. В апреле 1802 г. батарея, состоявшая из 2100 медных и 2100 цинковых кружков (то есть из 2100 пар), была собрана. Ее длина составляла 12 м, а электродвижущая сила — около 1700 В. Это был крупнейший в мире источник электрического тока. Исследуя с использованием своей, как он ее назвал, "огромной наипаче батареи" электрическую проводимость угля, Петров в начале 1802 г. сделал замечательное открытие. Он увидел, что если два куска древесного угля, соединенных изолированными проводами с обоими полюсами батареи, постепенно приближать один к другому, то при расстояниях в 1—3 линии (2—6 мм) между углями возникает "весьма яркий белого цвета свет или пламя, от которого оные угли скорее или медлительнее загораются и от которого темный покой довольно ясно освещен быть может". Так было открыто явление электрической дуги. Результаты своих опытов Петров обобщил в книге "Известие о гальвани-вольтовских опытах, которые производил профессор физики Василий Петров". Эта первая русская книга об электричестве была издана в Петербурге в 1803 г. Академик В. В. Петров очень много сделал для развития электротехники. Его опыты открывали возможности использования электричества для целей освещения, плавки металлов и восстановления металлов из их окислов. Он исследовал химические действия электрического тока, электропроводность различных веществ и явление электрического разряда в вакууме, доказал возможность электризации металлов трением, создал оригинальные электростатические машины. Электрические проводники изолировал вручную расплавленным сургучом или воском. До Петрова никто так ясно и четко не указывал на возможность практического применения электричества. Поэтому его с полным правом считают одним из основоположников электротехники.

Очень точно и остроумно подметил Д. Гранин, как история по-своему любопытно распределила "лавры": вольтовой дугой назвали электрическую дугу, которую сам Вольта никогда не получал и не видел, а изобретенный им "вольтов столб" превратился в гальванический элемент. Наиболее щедрой история проявила себя по отношению к Гальвани. Вряд ли сыщется еще одно имя ученого, от которого образовано столько производных технических терминов, как от Гальвани: гальванометр, гальванопластика, гальваностегия, гальванизация и т. п. — всего не менее десяти наименований. Именем Вольты названа единица одной из важнейших электрических величин — напряжения (а также электродвижущей силы и разности электрических потенциалов). Эта единица — вольт (В) с ее дольными и кратными производными от микро- и милливольта (мкВ, мВ) до кило- и мегавольта (кВ, МВ).

В высшей степени справедливо принятое во всем мире написание сокращенных наименований единиц физических величин, названных по именам выдающихся ученых, заглавными буквами.

Имя В. В. Петрова долгие годы оставалось в тени, несмотря на то, что свою первую книгу он выпустил буквально по горячим следам свершения. В 1804 г. вышла вторая книга — "Новые электрические опыты". Однако этот и другие его труды, изданные на русском языке, оставались не известными зарубежным физикам. Научные сочинения в ту пору было принято печатать в западноевропейских журналах. Тот же Д. Гранин в этой связи пишет: ". . . будь работы Петрова опубликованы в одном из этих специальных физических журналов, русская наука только выиграла бы. "Известия о гальвани-вольтовских опытах" могли бы стать достоянием мировой физики, . . . досадно, что заслуги Василия Петрова приходилось спустя столетие восстанавливать, доказывать, защищать.

Он при жизни имел полное право войти в число общепризнанных создателей электрификации".

Выходит, должен публиковать ученый свои труды в любую историческую эпоху, обязан "застолбить" приоритет и лично свой, и своей страны.

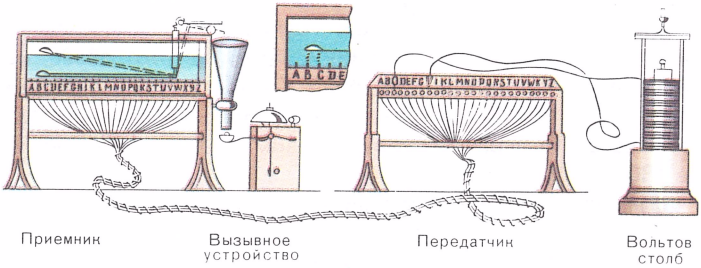
ЕЩЕ ДВА ЭТАПА

Электрохимический, или электролитический. К началу XIX века арсенал сторонников электрического телеграфа пополнился стабильным источником электрического тока — вольтовым столбом и понятием об электролизе воды. Назревала идея нового способа телеграфирования. Опять опередил других неистощимый на выдумки Ф. Сальва. Сначала (в 1800 г.) он выступил в Барселонской академии наук с трактатом "Гальванизм и его применение в телеграфии", в котором предложил не что иное, как "лягушачий телеграф". Он считал возможным для посылки телеграфного сигнала использовать "электричество, создаваемое большим количеством лягушек". В качестве приемника сигналов изобретатель намеревался также использовать лягушку, у которой поступивший сигнал "вызвал бы конвульсии". При этом Сальва ссылался на успешное действие устроенного им подобного телеграфа через изолированные провода на расстояние свыше 300 м. Дабы юные любители электротехники, прочитав этот абзац, не бросились воспроизводить опыт Сальвы поскорее перейдем к его "Второму трактату о применении гальванизма для целей телеграфии", прочитанному в той же Академии в 1804 г.

На сей раз Сальва выдвинул проект "пузырькового" телеграфа. Сигнал посылался подключением вольтова столба к соответствующей паре проводов, концы которых в пункте приема были подключены к паре металли-

ческих стержней, опущенных в сосуд с водой. Число пар проводов и число сосудов должны были бы равняться числу букв алфавита. Каждый сосуд, в котором выделялись пузырьки газа, соответствовал определенной букве. В дальнейшем сам Сальва указывал на возможность сокращения числа проводов сначала за счет применения одного общего провода взамен вторых проводов каждой пары, а затем вообще за счет комбинации сигналов, посылаемых одновременно по нескольким проводам. В этом случае общее число провсдов сокращалось до шести. О том, сумел ли Сальва воплотить свою идею на практике, сведения не сохранились.

Дальше Сальвы в направлении создания телеграфа, который долгие годы называли электрохимическим, пока его не предложили именовать электролитическим, продвинулся мюнхенский анатом Самуил Томас Земмеринг (1755 — 1830). В 1809 г. он соорудил более совершенную систему электролитического телеграфа, в котором позолоченные концы всех 25 проводов располагались не в 25 отдельных, а в одном общем сосуде с подкисленной водой. Пользуясь током обоих направлений, Земмеринг передавал одновременно две буквы. На передающем конце один провод подсоединялся к положительному, а другой к отрицательному полюсу вольтова столба. На приемном конце от позолочен-



Электролитический телеграф С. Т. Земмеринга

ных кончиков проводов, обозначавших буквы, начинали отделяться пузырьки кислорода и водорода. Сначала записывалось буквенное обозначение провода, от которого отделялось больше газа — водорода, затем второго провода, от которого отделялось вдвое меньше пузырьков — кислорода. Электролитический телеграф действовал на расстоянии до 600 м. Увеличив число проводов до 35, можно было передавать и цифры. В 1811 г. Земмеринг, применив кодированную посылку сигналов, сократил число электродов до восьми, так как он мог, сочетая электроды попарно, то есть первый — с остальными семью, второй — с оставшимися шестью, третий — с пятью и так далеее, передавать до 28 знаков (число сочетаний из восьми по два $C_8^2 = \frac{8 \cdot 7}{2} = 28$). Общее число проводов равнялось 10: из них один был вызывным и один — общим обратным. Л. Соучек считает, что при этом впервые была предпринята попытка изолировать провода методом обмотки их шелковой нитью.

Земмеринг много внимания уделил испытаниям изолированных проводов и исследованиям электропроводности воды. В этих опытах принял участие П. Л. Шиллинг, находившийся в течение девяти лет в Мюнхене в составе русского посольства.

Авторы публикаций о телеграфе Земмеринга не придали значения следующему загадочному обстоятельству Латинский алфавит состоит из 26 букв. Но почему в патентном описании первого варианта аппарата говорится о 25 буквах? На чертеже, воспроизведенном из патента Земмеринга, их тоже 25, причем отсутствует буква J. Как это понимать: простая забывчивость, ошибка чертежа, технический брак? Сомнительно, ибо цифра 25 в тексте согласуется с чертежом. Экономить на одной букве из 26? Неправдоподобно. Даже если она и малозначащая. На эту, казалось бы, мелкую, но любопытную деталь автор обратил внимание нескольких историков телеграфии. Западно-

германский инженер В. Махе высказал в этой связи предположение, что так как при телеграфировании обычно использовались заглавные (прописные) буквы, а во многих немецких печатных изданиях буквы *I* и *J* не различаются, то это и послужило причиной игнорирования Земмерингом буквы *J*.

Хотя электролитический телеграф и ознаменовал собой известный прогресс в области электрической телеграфии, в практической эксплуатации он оказался непригоден. Передачи длились долго и сопровождались большим количеством ошибок. Аппарат часто портился.

Все же опыт, накапливавшийся при попытках создать электрический телеграф, был несомненно полезен. Совершенствовались методы кодирования сигналов, конструкции отдельных элементов аппарата, способы изолирования проводов.

На подступах к электромагнитному. Еще один отрезок времени длиной в два десятилетия предстояло преодолеть на пути создания настоящего телеграфа. Обозначить этот отрезок можно одним словом "электромагнетизм". Начало учения об электромагнетизме — детище плеяды всемирно известных, преимущественно французских ученых, среди которых звездой первой величины был знаменитый Ампер, этот "Ньютон электричества", как назвал его впоследствии другой великий электрик Дж. К. Максвелл. (Пожалуй, с не меньшим основанием подобное определение подходит к самому Максвеллу.) Но хронологически первым в великолепной шеренге первооткрывателей был копенгагенский профессор физики тезка великого сказочника Ханс Кристиан Эрстед (1777—1851). Зимой 1819/20 учебного года (по одним данным 15 февраля, а по другим — еще в декабре) на лекции в университете он демонстрировал нагрев проволоки электричеством от вольтова столба, для чего составил электрическую, или, как тогда говорили, гальваническую, цепь.

На демонстрационном столе находился морской компас, поверх стеклянной крышки которого проходил один из проводов. Вдруг кто-то из студентов (о, эти вездесущие любопытные студенты!) случайно заметил, что, когда Эрстед замкнул цепь, магнитная стрелка компаса отклонилась в сторону. Повторное замыкание цепи привело к такому же результату. Так было открыто действие электрического тока (Эрстед говорил: "Перемещение по проводу электрической жидкости", понятие тока было введено несколько позже) на магнитную стрелку. Снова случайность? И снова студенты. Повтор ситуации Гальвани.

Да, случайность, но. . . не случайная. Восемь лет неутомимо шел Эрстед к этому историческому мгновению. Изучая явления магнетизма, он еще в 1812 г. пришел к мысли о связи электрических и магнитных сил, но не имел убедительных доказательств. Теперь доказательство было налицо. 21 июля 1820 г. вышла тоненькая, всего на четырех страницах брошюра Эрстеда "Опыты, касающиеся действия электрического конфликта на магнитную стрелку".

Под "электрическим конфликтом" Эрстед понимал столкновение двух различных электричеств. Однако сам он не сумел объяснить обнаруженное опытным путем явление. Сделал это всего два с половиной месяца спустя член Парижской академии наук Андре Мари Ампер (1775—1836), который узнал об опытах Эрстеда благодаря своему другу Доминику Араго.

Человек фантастической судьбы, талантливый астроном, ставший испанским пленником и затем алжирским невольником в период наполеоновских войн, писавший свои научные трактаты в тюремных казематах и лагерных бараках, Доминик Франсуа Араго (1786—1853) по возвращении во Францию в возрасте двадцати трех лет почти единогласно избирается в Академию наук. Так же как и Эрстед, он на протяжении многих лет накапливает

факты, свидетельствующие о какой-то связи электрических (особенно молний) и магнитных явлений. И так же как Эрстед, мечтает эту связь установить. Но в данной ситуации случай, счастливый случай, помог Эрстеду стать первым.

Через несколько дней после публикации брошюра Эрстеда появилась в Женеве, и с ней познакомился Араго. Сразу же повторив опыты Эрстеда, он вскоре сделал устное сообщение о них на заседании Парижской академии наук. Было это в понедельник 4 сентября того же года. Через неделю, 11 сентября, Араго продемонстрировал академикам опыт Эрстеда. На первом и втором заседаниях в числе других присутствовал теоретик Ампер. Настал и его долгожданный звездный час.

Ровно через неделю (всего лишь через неделю!), 18 сентября 1820 г., он начал в Академии серию сообщений по электромагнетизму. Ампер первый предложил термины "электрический ток" и "сила тока" и ввел понятие о направлении электрического тока, условно считая им направление движения положительно заряженных частиц, то есть от плюса к минусу батареи. Амперу обязан своим появлением новый раздел в учении об электричестве, охватывающий все проявления движущегося электричества, — электродинамика. Им же установлен один из основных законов электродинамики — закон механического взаимодействия (притяжения и отталкивания) электрических токов.

Он сформулировал правило, позволяющее определить направление отклонения магнитной стрелки в зависимости от направления тока в проводнике. В ту пору правило это было широко известно под названием "правила пловца": "Если мысленно расположиться человеку так, чтобы ток проходил по направлению от ног наблюдателя к голове и чтобы лицо его было обращено к магнитной стрелке, то под влиянием тока северный полюс стрелки всег-

да будет отклоняться влево". Одной из единиц электротехники, к тому же одной из семи основных единиц международной системы единиц физических величин (СИ), характеризующей силу электрического тока, в 1893 г. было присвоено имя ученого (ампер, А). Не забыт и Эрстед. Его именем названа единица напряженности магнитного поля (эрстед, Э). Год 1820-й оказался щедрым на электротехнические открытия. Так, в этом же именно году немецкий физик И. Х. Швейгер обнаружил, что если магнитная стрелка помещена внутри рамки, состоящей из нескольких витков проволоки, по которой протекает ток, то действие электрического тока на стрелку усиливается. Изобретенное им устройство назвали мультипликатором, то есть умножителем.

В своем третьем по счету сообщении в Академии наук Ампер выдвинул идею электромагнитного телеграфа. ". . . подтвердилась возможность, — писал он, — заставить перемещаться намагниченную стрелку, находящуюся на большом расстоянии от батареи, с помощью очень длинного провода. . .". И далее: ". . . можно было бы с помощью проводов, намагниченных стрелок, помеченных соответствующими буквами (количество проводов и стрелок должно быть взято равным числу букв в алфавите), и батареи. . . передавать сообщения, посылая телеграфные сигналы по очереди по соответствующим проводам. Метод позволил бы передавать сообщения на расстояние через препятствия. На приемном конце должен находиться оператор, который записывал бы переданные буквы, наблюдая отклоняющиеся стрелки". Наконец, ". . . передача каждой буквы занимала бы лишь время, необходимое для нажатия клавиши с одной стороны и прочтения буквы с другой стороны".

Решающее слово в эстафете многолетних поисков быстродействующего средства связи суждено было сказать замечательному русскому ученому П. Л. Шиллингу.

П.Л.ШИЛЛИНГ

Глава 3 СНАЧАЛА — ТЕЛЕГРАФНЫЕ

ИЗОБРЕТАТЕЛЬ ТЕЛЕГРАФА П. Л. ШИЛЛИНГ

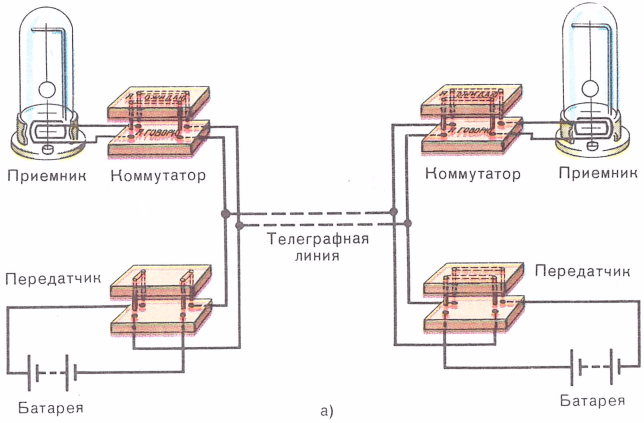
О Шиллинге и обо всем, что связано с изобретенным им телеграфом, написано очень много. Вряд ли можно что-нибудь прибавить к содержательной и интересной книге А. В. Яроцкого "Павел Львович Шиллинг", изданной в 1963 г. Академией наук СССР. А посему ограничимся лишь сообщением основных биографических сведений и кратким описанием сущности эпохального изобретения.

Павел Львович Шиллинг родился в городе Ревеле (ныне Таллин) 16 апреля 1786 г. После учебы в кадетском корпусе и недолгой военной службы он с 1803 по 1812 г. занимал должность переводчика, а затем секретаря русского посольства в Мюнхене, где не только познакомился и подружился с С. Т. Земмерингом, но и принимал деятельное участие в электротехнических опытах последнего. К 1811 г. относится идея первого изобретения Шиллинга — взрывать минные пороховые заряды на расстоянии посредством электрического запала, действующего от источника тока, связанного с ним двумя проводами. Осенью 1812 г. по возвращении в Петербург Шиллинг успешно продемонстрировал свое изобретение, взорвав мину под невской водой. Для этой цели он использовал изолированный провод собственной конструкции.

В 1813—1814 гг. Шиллинг находился в составе действующей армии и принимал участие на завершающем этапе Отечественной войны против Наполеона, заслужив ряд

высоких боевых наград. Затем долгие годы работал в Азиатском департаменте Министерства иностранных дел. Будучи в 1815 г. по делам службы в Париже общался с французскими физиками, особенно тесно с А. М. Ампером и Д. Ф. Араго. На Сене повторил свой опыт подводного взрыва порохового заряда посредством электрического запала. К тому времени обозначился весьма широкий круг научных интересов Шиллинга: электроминная техника и телеграфия, востоковедение и криптография (тайнопись), литография и кабельная техника. Серьезные занятия востоковедением и достигнутые на этом поприще результаты способствовали тому, что в 1828 г. Шиллинг был избран членом-корреспондентом Петербургской академии наук по разряду литературы и древностей Востока. В 1830—1831 гг. он возглавлял большую научную экспедицию в Восточную Сибирь.

На протяжении двадцати лет после знакомства с электролитическим телеграфом и особенно после открытия Эрстеда Шиллинг продолжал изыскания практически пригодного способа телеграфирования.

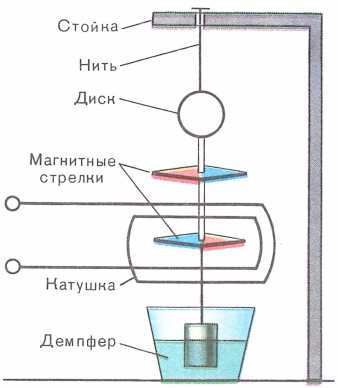


а)

Одномультипликаторный аппарат Шиллинга

В 1828 г. прообраз будущего электромагнитного телеграфа был готов и испытан. Он представлял собой двухпроводный одномультипликаторный (однострелочный) телеграф. Аппарат содержал все основные узлы, необходимые для телеграфирования: источник питания — вольтов столб (или столбец, как его называл сам Шиллинг); передатчик, подключавший к каждому из двух линейных проводов то один, то другой полюс батареи; двухпроводную линию; коммутатор, производящий переключение с приема на ожидание передачи; и, наконец, приемник — мультипликатор.

Основной частью приемника являлась так называемая астатическая пара стрелок, предложенная Ампером в 1821 г. для устранения влияния земного магнетизма. Две магнитные стрелки укреплялись на общей медной оси и располагались параллельно одна другой,полюса были обращены в противоположные стороны.Спаренные стрелки подвешивались так, что могли вращаться в горизонтальной плоскости, причем одна располагалась внутри катушки, состоящей из нескольких сот вит-



Устройство мультипликатора

ков изолированного провода, а другая — вне ее. К шелковой нити, на которой подвешивались стрелки, был прикреплен небольшой диск диаметром около 40 мм. Одна его сторона окрашивалась в черную краску, другая — в белую. В зависимости от направления тока в катушке магнитная стрелка поворачивалась в ту или иную сторону (правую П и левую Л), и телеграфист, принимающий депешу, видел либо черный, либо белый диск. Если ток в катушку не поступал, то диск был виден ребром. Внизу располагался сосуд с ртутью, гасящий колебания астатических стрелок и приводящий их в первоначальное положение по окончании действия электрического тока.

Для передачи латинского алфавита и цифр Шиллингом был разработан специальный код из комбинаций разного числа (от одного до пяти) последовательных сигналов, посылаемых током разного направления. Однако подобный код оказался чересчур неудобным: для распознавания каждой буквы требовалось запоминание всей комбинации обозначающих ее последовательных сигналов. Например: для буквы А — П, Л; для буквы М — Л, П, Л; для цифры 5 — Л, П, П, Л, Л. Процесс телеграфирования происходил очень медленно.

Решение проблемы принес шестимультипликаторный телеграф в сочетании с более рациональным кодом. Передача всех букв русского алфавита обеспечивалась отклонением в разные стороны одной или двух стрелок из шести. Цифры обозначались отклонением стрелок трех мультипликаторов из шести. Были разработаны единый передатчик с восемью парами белых и черных клавишей (одна пара служила для посылки вызова и одна пара являлась общей) и единый приемник с семью мультипликаторами, смонтированными на общей раме (один мультипликатор — вызывной). Линейная часть устройства состояла из восьми проводов, включая вызывной и общий обратный. Для передачи латинского алфавита достаточно было пяти мультипликаторов и пятизначного кода.

Часть телеграфного кода Шиллинга (положение дисков)

Первая публичная демонстрация нового телеграфа происходила 9 (21) октября 1832 г. на квартире Шиллинга в здании, современный адрес которого: Ленинград, Марсово поле, 7. Триумфальный день — дата изобретения электрической связи. Передатчик был установлен на одном конце этажа, а приемник — на другом, в рабочем кабинете Шиллинга — так называемой "китайской комнате", на расстоянии немногим более 100 м. Первая теле-

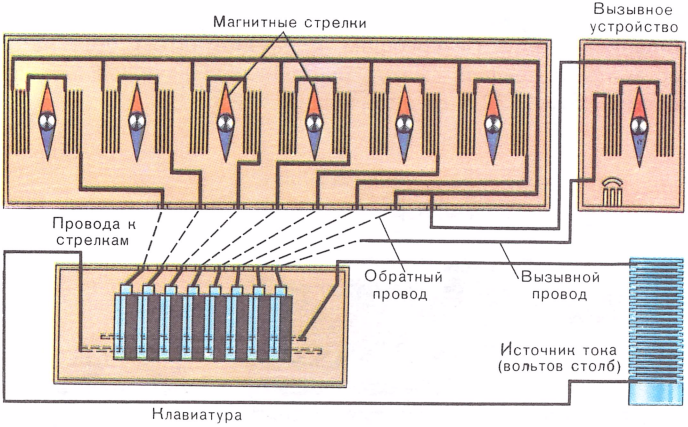
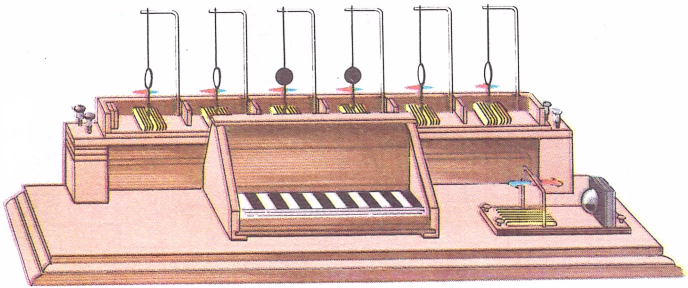


Схема проводной связи в шестимультипликаторном телеграфе Шиллинга

грамма, состоящая из десяти слов, на глазах у присутствующих была принята по электромагнитному телеграфу лично П. Л. Шиллингом моментально и верно.

Несмотря на большой интерес общественности к новому изобретению, царское правительство не торопилось с его внедрением. В сентябре 1835 г. П. Л. Шиллинг с успехом демонстрировал действие телеграфа на съезде естествоиспытателей и врачей (в отделении физики и химии) в Бонне. И только в 1836 г. русским правительством был наконец образован под председательством морского министра "Комитет для рассмотрения электромагнетического телеграфа", предложивший Шиллингу установить телеграф в здании Главного Адмиралтейства с целью длительных испытаний его в условиях, близких к эксплуатационным. Аппараты располагались в противоположных концах длинного здания, провода были проложены частично под землей, частично под водой. Но из-за неполадок линия так и не была введена в действие. В мае 1837 г. Комитет предписал Шиллингу устроить телеграфное сообщение между Петергофом и Кронштадтом, для чего составить проект и смету. Выполнить задачу ученый не успел. Летом 1837 г. он скончался.



Общий вид телеграфного аппарата Шиллинга

ПЕРВЫЕ КАБЕЛИ, ИХ ПЕРВОЕ И ПОСЛЕДНЕЕ ПОРАЖЕНИЕ

Шиллинг был первым, кто начал практически решать проблему создания кабельных изделий для подземной прокладки, способных передавать электрический ток на расстояние. И Винклер, и Сальва высказывали новаторские идеи, опережавшие реальность времени, но они оставались только идеями, научным предвидением, как говорим мы сегодня, или, употребляя более краткий термин, прогнозом. С. Земмеринг для своего непрактичного "комнатного" телеграфа использовал пучок проволок с шелковой изоляцией. Но "на природу" он с такой линией не выходил. Шиллингу для взрыва мины под водой подобный провод с волокнистой весьма гигроскопичной, то есть легко впитывающей влагу и вследствие этого теряющей свои диэлектрические свойства, изоляцией не подходил.

Производя вместе с Земмерингом опыты прокладки изолированного провода в земле и под водой, Шиллинг в 1811 г. пришел к мысли о целесообразности пропитки изоляции. Первоначальная конструкция изоляции была такова: обмотка из нескольких слоев шелковой пряжи покрывалась снаружи слоем озокерита. Провода с пропитанной изоляцией, погруженные в воду за сутки до испытания, действовали безотказно. Вскоре Шиллинг усовершенствовал изоляцию. Вот как он описывал ее: "Проводники состоят из тонких медных проволок, навитые шелком, покрытые каучуком и вплетенные в пеньковые веревки. . ." Запомним впервые появившееся в описании слово "каучук". К нему мы еще вернемся.

В своем сообщении об изобретении им провода, появившемся в печати в 1827 г., Шиллинг писал, что ". . . располагает таким проводом длиной 200 футов (60 м) и толщиной в четыре линии, то есть диаметром 8 мм, который был изготовлен в 1813 г. и с которым произведено уже около тысячи опытов. Этот провод пролежал в земле

шесть месяцев, в илистом пруду — целое лето и две зимы под снегом и после всего этого сохранил полную пригодность. . .".

Конструкция проводов была следующая. Токопроводящие медные жилы диаметром 1—2 мм покрывались двойной обмоткой: внутренней из толстой шелковой или хлопчатобумажной нити и внешней из пеньковой пряжи. После наложения первого слоя изоляции провод погружался для ее пропитки в раствор каучука в льняном масле. Просушенный, он покрывался вторым пеньковым слоем и вновь пропитывался тем же раствором.

После вторичной пропитки и сушки провод был готов к использованию. Наличием наружной пеньковой обмотки объясняется тот факт, что сам Шиллинг иногда называл провод веревкой. Вот как описывал он линию вокруг Адмиралтейства: "Длина двадцати веревок, служащих проводниками и связанных между собою, составляет с небольшим пять верст. . ."

И все же к изоляции провода разового использования не предъявлялось особенно высоких требований. Для действия мины был достаточен импульс тока, который можно было передать и при относительно низком сопротивлении изоляции провода (следовательно, большой утечке тока), применяя более мощную батарею. Минные провода в земле или в воде в общем-то находились кратковременно.

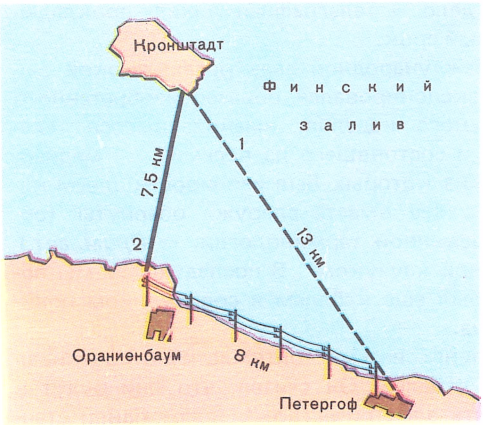
Современные провода для промышленных взрывных работ — их долгие годы называли детонаторными — наиболее примитивные из тысячной номенклатуры кабельных изделий: мягкая медная проволока диаметром 0,5 или 0,8 мм покрыта изоляцией из полиэтилена толщиной 0,35 и 0,6 мм соответственно; провода изготовляют одножильными и двухжильными — скрученными из двух изолированных жил.

Совсем другое дело — телеграфная линия, прокладываемая на длительный срок.

В 1881 г. на Международной электротехнической выставке в Париже экспонировался образец изобретенного Шиллингом кабельного изделия, именовавшегося телеграфным кабелем и состоявшего из восьми". . . медных проводов, каждый из которых был изолирован слоем каучуковой массы, а все вместе снаружи обернуты (обмотаны — по современной терминологии. — *Прим. авт.*) пенькой, пропитанной каучуком". В последующем мы покажем, что он не был еще кабелем в современном понимании этого термина.

Поначалу Шиллинг весьма оптимистично оценивал надежность своих кабелей. Он считал, что они будут в состоянии проводить электричество ". . . от одной станции до другой, как бы расстояние велико ни было; на них не действует ни сырость, ни перемена температуры. Их гибкость предохраняет от разрыва, и глубоко закопанные в земле вдоль больших дорог они будут как бы под наблюдением всех проезжающих". Насчет возможности визуального наблюдения за кабелем, проложенным "глубоко в земле", допущено преувеличение. Что касается оценки надежности и долговечности изоляции, то Шиллинг не удовлетворился эмпирическими предположениями, а продолжал исследования, пытаясь найти объективные сравнительные характеристики различных типов изоляции. В 1836 г. им испытывались короткие линии, проложенные в земле, под водой и находящиеся на воздухе.

Никакие электрические измерения изоляции в то время производить еще не умели. Тем не менее Шиллинг установил, что изоляция даже самых лучших образцов его кабеля, проложенного в земле или в воде, сравнительно быстро теряет свои свойства, чем, безусловно, уступает "воздушной" изоляции "голых" проводов, подвешенных на изоляторах, укрепленных на столбах. Поэтому при рас-



Проект трассы телеграфной линии Петергоф — Кронштадт:
1 — трасса, утвержденная Комитетом; *2* — трасса, предлагавшаяся П. Л. Шиллингом

смотрении в Комитете проекта телеграфа между Петергофом и Кронштадтом Шиллинг в отличие от официального предложил такой вариант трассы линии, при котором ее половина была бы выполнена голым проводом на столбах вдоль Петергофской дороги. Проект линии воздушной подвески, или просто воздушной линии, был отвергнут, так как, во-первых, показался фантастическим и, во-вторых, не соответствовал желанию правительства сохранить новое средство связи в тайне. Присутствовавший на заседании друг, соратник и продолжатель дела Шиллинга академик Б. С. Якоби впоследствии вспоминал, что благоразумное предложение Шиллинга было встречено членами Комитета недоброжелательными и насмешливыми возгласами. Позднее один из них сказал Шиллингу:

"Любезный друг мой, ваше предложение — безумие, ваши воздушные проволоки поистине смешны".

А после своего заграничного путешествия в 1850-х годах Б. С. Якоби писал: "В настоящее время, когда можно видеть большую часть Европы и Соединенных Штатов Америки пересеченной по всем направлениям воздушными линиями, следует отдать дань уважения памяти П. Л. Шиллинга, который уже в 1835 и 1836 гг. предложил подобную систему для проведения электрического телеграфа. . .".

Телеграфом Шиллинга после сообщения, сделанного им в Бонне, заинтересовались в Западной Европе. Известный немецкий физик и конструктор оптических приборов Карл Август Штейнгель (1801 —1870) в апреле 1836 г. обратился к властям за средствами для устройства линии электромагнитного телеграфа между Мюнхеном и Богенхаузеном длиной 5 км. Однако с намеченной прокладкой подземной линии Штейнгель не сумел справиться и в 1837 г. приступил к подвеске воздушных проводов частично по высоким зданиям и церквям, частично по деревянным мачтам, установленным через каждые 350 м.

В связи с огневой сигнализацией упоминалось имя отважного мореплавателя Джеймса Кука, который возглавлял три кругосветных путешествия, открыл много островов в Тихом океане, в том числе Гавайские, где его жизнь трагически оборвалась. В истории телеграфии своеобразную известность приобрело имя другого Кука. Тоже англичанин, отставной офицер колониальных войск Уильям Кук (1806 — 1879) в марте 1836 г. находился в Гейдельберге. Там он, изучая в университете анатомию, случайно попал на лекцию профессора Мунке. Того самого известного физика Г. В. Мунке, который всего лишь за полгода до этого председательствовал на съезде в Бонне, где Шиллинг демонстрировал свой телеграф. По достоинству оценив изобретение Шиллинга, Мунке объяснял студентам на лекциях действие электромаг-

нитного телеграфа. Добыв копию трехстрелочного учебного аппарата (по версии Л. Соучека путем подкупа механика, изготовившего этот аппарат), Кук сразу же вернулся в Англию, чтобы поскорее реализовать новинку. Не обладая знаниями по электротехнике, Кук самостоятельно с задачей справиться не смог и в 1837 г. обратился за помощью к известному физику и изобретателю, члену Лондонского королевского общества Чарльзу Уитстону (1802 — 1875). Каждый школьник знает, без сомнения, прибор для измерения электрического сопротивления "мост Уитстона", или, как теперь его официально называют, "одинарный мост". Вступив с Куком в соглашение, Уитстон быстро разобрался в том, что три мультипликатора не обеспечивают передачу всех букв латинского алфавита. Сконструировав четырехстрелочный телеграф, они подали первую патентную заявку 12 июня 1837 г., а затем, после некоторых усовершенствований, вторую — 18 апреля 1838 г. То есть сделали то, чего в свое время не предусмотрел Шиллинг (впрочем, возможно действовал абсолютный запрет императора Николая I публиковать какую-либо информацию относительно аппаратуры электрического телеграфа). Так мир узнал о запатентованном изобретении электромагнитного телеграфа системы "Уитстона — Кука". По существу же, за исключением незначительных деталей, телеграф Уитстона и Кука мало чем отличался от телеграфа Шиллинга.

Тем не менее предприимчивый Кук уже в 1837 г. цинично запрашивал: ". . . сколько бы согласилось российское правительство дать за то, чтобы иметь возможность передавать из Петербурга в Москву в течение каждых 10 минут 50 слов, каждое по пяти букв?". Представляет интерес техническая сторона предложения Кука, а именно возможность передать за 10 минут 250 знаков по линии длиной 650 км. Следовательно, несмотря на то, что новое средство связи еще только зарождалось, по линии электро-

магнитного телеграфа можно было передавать информацию в пять раз быстрее, чем по линии такой же длины хорошо освоенного к тому времени оптического телеграфа.

Созданная Уитстоном и Куком фирма "Электрик телеграф компани" приступила к реализации в Англии "своего" телеграфа. Новым средством связи заинтересовались прежде всего железнодорожные компании. Паровозы развивали скорость уже до 60 км/ч. Естественно, железнодорожная администрация нуждалась в средстве связи, обеспечивающем передачу сообщений между станциями быстрее, чем двигался паровоз. "Телеграфические сообщения, устраиваемые по направлению железных дорог, имеют целью доставлять средство управления движением и этим предупреждать несчастные случаи, могущие происходить от столкновения поездов" — отмечалось в проектах железнодорожных телеграфных линий.

Опытная демонстрация телеграфной линии состоялась в 1837 г. на 1,5-километровом участке Юстон — Камден-Таун железной дороги Лондон — Бирмингем. Однако первая действующая линия коммерческого пятистрелочного телеграфа протяженностью 21 км была открыта 9 июля 1839 г. на Большой Западной железной дороге между Паддингтонским вокзалом в Лондоне и Уэст Дрейтоном. В 1843 г. линия была продлена до Слау, ее протяженность увеличилась до 50 км. К сожалению, сведения о конструкции обеих линий — опытной и коммерческой — не сохранились.

Физик и электротехник, одинаково сильный и в теории и в практике, Борис Семенович Якоби (1801 —1874) был на пятнадцать лет моложе П. Л. Шиллинга. Знакомство их, состоявшееся в 1836 г., вскоре перешло в дружбу единомышленников. В 1837 г. Якоби в течение нескольких месяцев жил в доме Шиллинга. Выдающийся ученый академик Б. С. Якоби является создателем гальванопласт-

тики, пионером в области электрических измерений, конструктором ряда оригинальных электродвигателей. После смерти своего друга Якоби много сделал для развития электромагнитного телеграфа, сконструировав в 1840-х и 1850-х годах более десяти типов телеграфных аппаратов и проложив несколько подземных телеграфных линий.

В следующем параграфе будет подробно рассмотрена эволюция конструкций первых подземных линий электрической связи, а пока, несколько забегая вперед, скажем, что в 1846 г. Якоби так же, как в 1837 г. Шиллинг, пришел к выводу о бесперспективности при существовавшем уровне техники и технологии подземных кабельных линий и о целесообразности сооружения воздушных проводных линий.

Аналогичным образом развивались события и на противоположной стороне земного шара — в Соединенных Штатах Америки. При сооружении в 1844 г. первой телеграфной линии между Вашингтоном и Балтимором длиной примерно 60 км по проекту С. Морзе, ставшего вскоре знаменитым, сначала попытались прокладывать многожильный кабель в свинцовой трубе. Был даже сконструирован (инженером Эзрой Корнеллом) специальный плуг, который рыл траншею, укладывал в нее кабель и закапывал траншею. Это был первый в мире кабелеукладчик. Однако подземная прокладка линии . . . "на первом же десятке миль, — писал впоследствии помощник Морзе механик Томас Эйвери, — окончилась неудачей (из-за многочисленных коротких замыканий жил. — *Прим. авт.*). После этого примерно 1 апреля 1844 г. мы начали подвешивать провода на столбах". В качестве изоляторов использовались горлышки стеклянных бутылок (шутники утверждали, что из-под виски).

Слово "знаменитый" в сочетании с фамилией Морзе написано не случайно. Известный художник, профессор

живописи, первый президент национальной Академии художеств, он, однако, прославился не на ниве искусства. Многие годы имя Сэмюэла Морзе (1791—1872) было самым популярным в истории электротелеграфии.

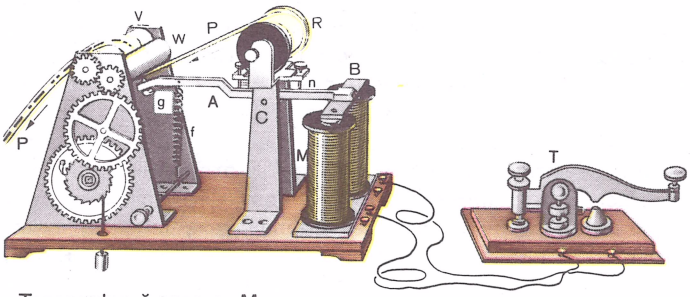
В октябре 1832 г., в то самое время, когда Шиллинг провел первую публичную демонстрацию своего электромагнитного чуда связи, Морзе впервые узнал об удивительном воздействии электрического тока на магнитную стрелку. Тогда же возникла у него мысль изобрести телеграф. Как и Шиллингу, ему понадобился не один год всепоглощающего страстного труда на пути к триумфу.

В отличие от Шиллинга Морзе с самого начала стремился создать не показывающий (требующий постоянного наблюдения дежурных телеграфистов), а самозаписывающий телеграф. К 1835 г. конструкция аппарата вчерне была ясна изобретателю. Но ушло еще два года на то, чтобы собрать первый образец. Наконец, 4 сентября 1837 г. в здании Нью-Йоркского университета состоялось его публичное испытание. Морзе на одном конце здания и его помощник Альфред Вейль — на другом передали свою первую телеграмму: "Успешный опыт с телеграфом, сентября 04 1837". Впрочем "успешный" следовало бы взять в кавычки. Аппарат произвел зигзагообразную запись сигналов так нечетко, что прочитать ее с трудом смогли только сами изобретатели. Примененная ими азбука была слишком сложна. Присутствующие подвергнули Морзе насмешкам. Но неудача не обескуражила его. В течение четырех месяцев был усовершенствован аппарат, и за это время Морзе придумал принципиально новый код — сочетание точек и тире — свою поистине знаменитую "азбуку Морзе", которой человечество неизменно и широко пользуется вот уже почти полтора столетия. Новый, на сей раз вполне удавшийся опыт состоялся 24 января 1838 г. в том же университете. В этот день передача велась на расстоянии 15 км. Для этой це-

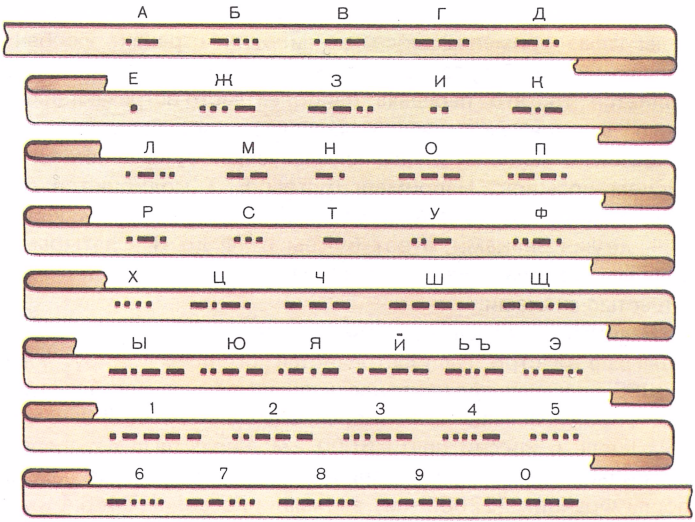
ли была смонтирована искусственная линия такой длины. Еще целых пять лет добивался Морзе согласия конгресса Соединенных Штатов на строительство первой телеграфной линии. Лишь в марте 1843 г. конгрессмены 89 голосами против 83 приняли долгожданное для изобретателя решение. В конце мая 1844 г. воздушная телеграфная линия Вашингтон — Балтимор начала действовать.

Иногда пишут, что Морзе изобрел "электромагнитный телеграф". Как же так? Ведь хорошо известно, что "электромагнитный телеграф", то есть телеграф, основанный на принципе электромагнитного воздействия, изобрел Шиллинг. Некоторую путаницу вносит то, что в одних случаях под словом "электромагнитный" понимают принцип действия, а в других — факт применения электромагнита. Дело в том, что вместо мультипликаторов Шиллинга и стрелок Кука и Уитстона в качестве приемника Морзе использовал электромагнит, изобретенный в 1825 г. английским электротехником-самоучкой Уильямом Стерджеоном (1783 — 1850) и впоследствии усовершенствованный американским физиком академиком Джозефом Генри (1797 — 1878), который своими советами во многом помог Морзе.

Что собой представлял телеграфный аппарат Морзе? Якорь n небольшого электромагнита M являлся одним



Телеграфный аппарат Морзе



Телеграфный код Морзе

из плеч вращающегося вокруг оси *C* рычага, другое плечо которого *A*, оттягиваемое пружиной *f*, заканчивалось штифтом *q*. Нажатием на ключ *T* производили замыкание электрической цепи — мгновенное или длящееся некоторое время. По обмотке электромагнита *M* протекал ток от батареи, и якорь *n* притягивался к намагниченному железному сердечнику *B*. Плечо рычага *A* поднималось, и штифт *q* отмечал соответственно короткие — точки — или длинные — тире — черточки на бумажной ленте *P*, которая равномерно передвигалась с отдающего устройства *R* посредством часового механизма и валиков *V* и *W*.

Благодаря относительной простоте и компактности устройства, удобству манипуляций при передаче и приеме и, главное, быстродействию телеграф Морзе в течение

полустолетия был наиболее распространенной системой телеграфа, применявшейся во многих странах. Особенностью кода Морзе, обеспечившей его долговечность, является то, что передача наиболее часто встречающихся букв ведется меньшим количеством последовательных посылок, а наиболее редко используемых букв — бо́льшим числом посылок. Например, буквы Е, Т кодируются одним знаком, соответственно точкой и тире, буквы А, И, М, Н — двумя знаками, а вот буквы от Ф до Я — четырьмя знаками (буква Э даже пятью). Цифры кодируются пятью и шестью знаками.

Начиная с середины 40-х годов прошлого столетия телеграф быстро распространяется по всему миру. Уже в 1855 г. общая протяженность телеграфных линий в странах Европы составила по неполным данным 40000 км, в том числе в России почти 6000 км. Через пять лет цифра удвоилась (83500 км), причем второе и третье места после Франции (22000 км) занимали Россия (17446,4 км) и Великобретания (17366,4 км). В 1865 г. в Европе насчитывалось уже 150000 км линий электросвязи. На первое место вышла Россия (35400 км), Франция и Англия переместились соответственно на второе (31600 км) и третье (25700 км) места. В 1871 г. была открыта самая длинная в мире телеграфная линия Москва — Владивосток протяженностью около 12000 км.

После неудач, связанных с прокладкой первых подземных линий, связь во всех странах осуществлялась преимущественно (на 97—99%) по воздушным линиям. Короткие кабельные вставки в воздушные линии прокладывались главным образом в железнодорожных тоннелях, при пересечении озер и рек, в редких случаях в городах. Но данные только о протяженности линий не полностью иллюстрируют темп их развития. Рост телеграфного обмена опережал рост линий. Поэтому на столбовых линиях подвешивалось не по одному, а по несколько

(3—5, а на отдельных участках даже 8—10) неизолированных проводов из малоуглеродистой стальной (тогда она называлась железной) проволоки. Диаметр проводов, "выделанных из железа высшего достоинства", был 2,5: 3; 4; 5 и 6 мм с допуском ± 0,1 мм.

Так, в уже упомянутом 1865 г. суммарная длина телеграфных проводов в Европе была более 425000 км, то есть почти втрое превышала протяженность линий.

Еще нагляднее иллюстрирует вышесказанное телеграфная статистика России. В 1881 г. было 89500 км воздушных телеграфных линий и 1083 телеграфных станций. За год было передано 7,3 миллиона депеш. Через два года, в 1883 г., число станций увеличилось до 1372, а протяженность линий составила 97000 км. На них было подвешено почти 180000 км проводов. В 1883 г. было передано уже 10,22 миллиона депеш, в среднем по 98 на 1000 жителей. Таким образом, телеграфный обмен вырос на 40 %, а протяженность линий на 8%.

Таблица 1

Протяженность воздушных телеграфных линий, тыс. км

Часть света	1866 г.	1900 г.
Европа	180	2840
Америка	80	4050
Азия	20,8	500
Австралия	3,2	140
Африка	—	300

Уже к началу широкого распространения телеграфа для организации одной телеграфной связи (или, по-современному, одного телеграфного канала) требовался всего один провод. Начав с четырехстрелочного, а затем пятистрелочного, Уитстон и Кук уже в 1840 г. перешли на двухстре-

лочный, а в 1845 г., применив специальную азбуку, на однострелочный аппарат, для цепи которого требовалось всего два провода. Но так же как в аппарате Морзе, один из них можно было упразднить, использовав в качестве второго (обратного) провода землю. Первым доказал такую возможность Штейнгель. После постигшей его неудачи с прокладкой подземной линии и ввиду нежелания прусского правительства (так же как и русского) строить воздушные линии, он небезуспешно пытался использовать вместо проводов железнодоржные рельсы. С этой целью проводились испытания на 30-километровом железнодорожном участке Нюрнберг—Фюрт.

Однажды, проезжая вдоль дороги, Штейнгель обратил внимание на то, что на протяжении примерно десятка метров колея разобрана, так как рабочие уже в течение нескольких дней ремонтируют железнодорожное полотно. Телеграф, к его удивлению, все эти дни исправно работал. Но если непрерывность рельсового пути была нарушена, значит, электрический ток на этом отрезке проходил через землю. Так была установлена возможность практического использования электропроводности земли. В 1838 г. Штейнгель опубликовал статью, в которой предлагал применять землю вместо второго телеграфного провода, но на сравнительно короткие расстояния. Снова случайное открытие? Не пора ли завести копилку случайностей и откладывать в нее счастливые случайности, способствовавшие тому или иному открытию или изобретению, с которыми мы встретимся в нашей книге. Но снова "случайность" оказалась на пути человека, ведущего поиск если не в том же, то в параллельном направлении.

(Описывая открытие Штейнгеля, Л. Соучек допустил неточность, говоря, что "Земля не может вести слабый ток по направлению к удаленному аппарату. Она только

принимает ток одного полюса и, таким образом, замыкает электрическую цепь".)

Б. С. Якоби, проводя многочисленные опыты на 25-километровой линии Петербург—Царское Село (в то время одной из самых длинных подземных линий связи в мире), доказал, что возможно использовать проводимость земли на неограниченные расстояния. В 1843 г. он писал: "Измерительные опыты над царскосельским проводом, выяснившие на практике возможность совсем обойтись без целой половины проводной цепи, показали, что бремя телеграфной службы можно возложить на мать сыру-землю".

Земля, конечно, не является таким проводником электрического тока, как металлы. Электрическая проводимость земли меньше электропроводности металлов в $10^8 - 10^{11}$, то есть в миллиарды раз. Величина, обратная удельному сопротивлению, называется удельной проводимостью, обозначается буквой σ и измеряется в сименсах, деленных на метр (1 См = 1/Ом). Следовательно, удельная проводимость земли лежит в основном в пределах $10^{-3} - 10^{-1}$ См/м. И все же она достаточна для про-

Таблица 2

Удельное электрическое сопротивление, Ом · м

Материал	Значение
Проводники	$10^{-8} - 10^{-5}$
Медь	$1{,}7 \cdot 10^{-8}$
Алюминий	$2{,}8 \cdot 10^{-8}$
Сталь	$11 \cdot 10^{-8}$
Полупроводники	$10^{-6} - 10^{9}$
Почвы	$10^{1} - 10^{3}$
Диэлектрики	$10^{7} - 10^{17}$

хождения через землю электрического тока. Вот почему практически с самого зарождения все телеграфные линии как воздушные, так и кабельные "работали" по однопроводной схеме. Вторым проводом в каждой цепи служила земля или вода (в случае подводной прокладки).

А БЫЛ ЛИ ИЗОБРЕТЕН КАБЕЛЬ?

История порой, словно в стоп-кадре, точно фиксирует дату и сущность того или иного открытия или изобретения, имя их автора. Так было, например, с изобретением телеграфа, телефона, радио. Порой не представляется возможным объективно установить первенство. А порой изделие или конструкция создаются постепенно, плавно совершенствуются в виде десятков незначительно различающихся модификаций. И практически невозможно поймать тот миг, когда изделие, конструкция стали такими, какими мы их сегодня воспринимаем. Так получилось и с кабелем связи. Но прежде чем попытаться проиллюстрировать сказанное, пожалуй, самое время начать знакомить читателей с элементарными сведениями по кабельной терминологии. Несмотря на то, что еще математику Пифагору (VI век до н.э.) приписывают следующее изречение: "Прежде всего научись каждую вещь называть ее собственным именем; это самая первая и важнейшая из всех наук", терминология приобрела авторитет науки только во второй половине нашего столетия. Автор книги "Сигналы, помехи, ошибки" Л. М. Финк в параграфе "Кое-что о терминах" считает распространенным мнение о влиянии возраста учёных на их отношение к терминологии. Дескать, молодые ученые не обращают внимания на чистоту терминологии, для них важнее сам факт появления нового, а пожилые ученые по мере угасания своей творческой активности придают терминологии все большее, подчас несоразмерно большое значение. Позволим себе с этим

не согласиться. Или согласиться частично. Дело скорее не в возрасте, а в степени обязательности. Нам встречались ученые, которые и в тридцать лет проявляли научную щепетильность при выборе нового термина, но известны и стареющие представители науки, которым проблемы терминологии всегда были чужды.

Первый отечественный терминологический стандарт по кабельной технике был разработан не так давно — в конце 1960-х годов. В последующие годы он был дополнен и расширен и теперь известен как ГОСТ 15845—80 "Кабельные изделия. Термины и определения". На его основе согласован и стандарт СЭВ (СТ СЭВ 585—77). Правда, когда создавался стандарт, приходилось в ряде случаев считаться с исторически сложившимися и, главное, укоренившимися в практике терминами, что привело к известной неоднозначности некоторых понятий.

Итак, кабель связи — изделие заводского производства, пригодное для прокладки в любых условиях: в грунте, под водой, на открытом воздухе, в помещении — и предназначенное для передачи любых сигналов информации. В стандарте, правда, записано "электрических сигналов", но уже наступила пора дополнить это определение словами "и оптических". Электрический кабель связи состоит из двух или более (забегая вперед, скажем до нескольких тысяч) изолированных жил (проводников), скрученных между собой по определенной системе и заключенных в общую металлическую или неметаллическую оболочку. (В XIX веке применялись и одножильные кабели.) Для передачи электрического тока служат металлические обладающие высокой электропроводностью проволоки; их называют жилами, более точно токопроводящими (иногда пишут токоведущими) жилами. Чтобы токопроводящие жилы не касались одна другой, каждую из них изолируют. Скрученные все вместе они составляют основу кабеля, его сердечник. В отнюдь не романтич-

ном немецком техническом языке сердечник называется очень поэтично "Kabelseele", что буквально переводится как "душа кабеля". Наконец, для защиты от влияний окружающей среды, в которой у кабеля так много различных врагов, и в первую очередь влага, служит сплошная оболочка. В то же время, как это ни парадоксально, почти все подводные (именно подводные!) телеграфные кабели прошлого и настоящего столетий обходились без оболочки. Многие кабели имеют поверх оболочки дополнительный защитный броневой покров.

Чем отличается провод от кабеля? Провод состоит либо из одной как голой, так и изолированной проволоки, либо из нескольких изолированных скрученных вместе жил. Провод, как правило, не предназначен для прокладки в земле и под водой, чем он принципиально и отличается от кабеля. Для защиты от внешних воздействий могут служить легкая неметаллическая оболочка, обмотка или оплетка из волокнистых материалов: хлопчатобумажной пряжи, шелковой нити, синтетических волокон.

Вооруженные терминологическими познаниями, мы можем сказать, что Шиллингом был изобретен не кабель, а провод. Шиллинг сначала имел дело с одножильным и двухжильным (для взрыва мин) проводами, затем с восьмижильным проводом для своего шестимультипликаторного аппарата. Изолированные жилы не были скручены между собой — в ту пору крутильных машин еще не знали, — а просто скреплялись и защищались общей пропитанной пеньковой обмоткой. Конечно, предохранять длительное время гигроскопичную, шелковую, пусть даже покрытую лаком изоляцию жил от влияния влаги такая защитная обмотка не могла. Шиллинг положительно оценил сохранность провода, пролежавшего в земле всего полгода — год, по его внешнему виду. Электрические, а точнее, диэлектрические свойства изоляции количественно оценивать еще не умели.

Можно с уверенностью сказать, что, пролежи подобный провод в земле не один, а два-три года, его защитная обмотка и изоляция жил сгнили бы. Шиллинг, вероятно, первый применил в качестве изоляционного материала эластичную смолу каучук, — начав с пропитки шелковой изоляции жил и защитной обмотки каучуковым соком, как поступали в то время при пропитке тканей для непромокаемых плащей — макинтошей, названных по имени своего изобретателя Чарльза Макинтоша.

В дальнейшем, судя по записям самого Шиллинга, он поверх шелковой изоляции накладывал вручную (машинный способ еще не был изобретен) сырую невулканизованную каучуковую массу. Каучук того времени хотя и предохранял изоляцию от увлажнения, но до определенной поры. При повышении температуры в летнее время он терял свои свойства, размягчался, становился липким, клейким, текучим. Точнее будет сказать так: изоляция обмазывалась каучуковой массой. Применялся и другой способ. Проволоку, обмотанную пряжей, пропитывали в нагретой массе, содержащей пчелиный воск, сало, смолу и (или) другие компоненты, например битум, льняное масло (испытывались различные смеси), после чего вторично обматывали пряжей и обмазывали массой.

Однофамилец известного английского химика Дэви еще в 1836 г. предложил затягивать изолированные шелком и пропитанные провода в трубы. В 1840 г. Уитстон проложил в Англии телеграфную линию длиной в 30 км в чугунных трубах. Были предложения вместо стальных использовать асфальтовые или глиняные трубы и прокладывать их на глубине 0,9 м.

Б. С. Якоби, как и другие "телеграфисты" 1840-х годов, прекрасно понимал необходимость надежной защиты "души кабеля" от капризов внешней среды. Свое мнение он выразил очень четко: ". . . трубопровод является неиз-

бежным не только потому, что изоляция может быть выполнена не на должном уровне, но также и по причине возможности случайных повреждений в случае легкого доступа к проводу. . .". О конструкции трубопровода он писал следующее: "Опыт, накопленный при прокладке газопроводных труб, показал необычную подвижность здешних почв, настолько большую, что нередко стальные трубы ломаются посредине, либо в местах соединений".

Первую телеграфную линию Якоби проложил осенью 1841 г. Это была двухпроводная линия длиной 363 м между Зимним дворцом и зданием Главного штаба в Петербурге. Токопроводящие жилы из отожженной мягкой медной проволоки диаметром 3 мм изолировались путем обмотки хлопчатобумажной пряжей в два слоя с последующей пропиткой специальной мастикой из воска, сала и смолы хвойных деревьев — канифоли. Изолированные жилы затягивались в последовательно соединенные узкие жестяные гильзы. Первый опыт Якоби не удовлетворил. Он писал: "Проложенная под площадью опытная линия, в которой провода проложены не в трубах, а в специально формованных из железного листа гильзах, вставленных одна в другую, показала большие неудобства. . .". Гильзы не защищали изоляцию провода от влаги, которая проникала в местах сочленений.

Крупнейший электротехник своего времени Б. С. Якоби объективно оценивал качество изоляции проводов и понимал ее несовершенство. Стремясь уменьшить утечку тока, он принял оригинальное решение. "Так как под землей создается гальваническая утечка, — писал он, — то я решил выбрать стеклянные трубы, хотя до этого такой материал едва ли употреблялся для подобных целей и на этот счет не имелось никаких указаний опыта".

Вероятно, Якоби либо не знал об опытной линии электростатического телеграфа Рональдса, либо не придавал

этой "домашней" линии, не выходившей за пределы садового участка, серьезного значения.

По проекту Якоби в 1842 г. была сооружена вторая линия протяженностью 2,7 км, которая соединила Зимний дворец с Главным управлением путей сообщения. Жестяные гильзы в ней были заменены стеклянными трубками диаметром 20 мм и длиной по 1,5 — 2 м. Якоби описывал эту линию так: "Концы стеклянных трубок слегка шлифовались и соединялись между собой каучуковыми втулками, так что вся система могла легко следовать каждому изгибу траншеи. Трубы были первоначально проложены по дну траншеи и в местах закрепления обложены кирпичом, но позднее кирпич не применялся и трубы укладывались на слой мелкозернистого песка толщиной 15 см и засыпались слоем такого же песка, тщательно очищенного от щебня. Ширина по дну траншеи составляла 55 см". И далее: "Разумеется было бы лучше защищать трубы деревянным кожухом, но это значительно увеличит стоимость и, кроме того, дерево, подверженное увлажнению, не может долго сохраняться". Но и этот опыт оказался неудачным. От стеклянных защитных трубок пришлось отказаться вследствие их хрупкости.

В Англии была проложена подземная линия в деревянных пропитанных креозотом брусках, в которых были выдолблены канавки прямоугольной формы. Желоба вмещали до 10 проводов и имели деревянную крышку, а позднее закрывались стальной оцинкованной пластиной. На замощенных улицах города провода протягивались в трехдюймовых трубах газопровода.

В Париже в 1855—1857 гг. был опробован следующий вид подземной прокладки. Десять голых проволок в траншее глубиной 1,2 и шириной 0,9 м туго натягивались на длине 60—80 м. Их положение фиксировалось посредством железных гребенок с зазором между зубьями в 2,5 см. Дно траншеи застилалось плотной бумагой, ее стенки

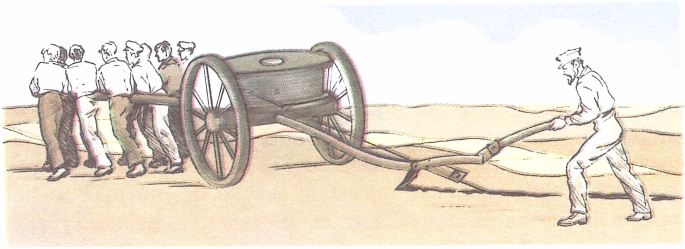
укреплялись досками и в ней периодически устанавливались вертикальные бруски. Полученная таким образом форма заливалась массой из 65 % асфальта и 35 % промытого гравия. Когда залитая масса отвердевала, железные гребенки и доски извлекались наружу и оставались изолированные одна от другой жилы. Любопытно, что в качестве токопроводящих жил использовалась не медная, а стальная оцинкованная проволока диаметром 4 мм. Изоляцией служила хлопчатобумажная пряжа, пропитанная лаком на основе смолы "шеллак".

Занимательной кабельной техникой можно назвать описание изготовления и прокладки 25-километрового подземного участка Алипур—Раджхат телеграфной линии Калькутта—Кедгери в Индии. Для изготовления токопроводящих жил были взяты стальные прутки длиной 4 м и диаметром 9,6 мм. Каждый пруток закреплялся на бамбуковых шестах высотой 0,9 м и обматывался вручную узкими (шириной 6,3 мм) лентами пропитанного мадрасского полотна, наложенными во взаимно противоположных направлениях подобно хирургической повязке, так что верхний виток ленты перекрывал нижний на половину его ширины. Смола для пропитки приготавливалась таким способом, что не затвердевала в холодном состоянии. Руководитель прокладки линии директор Ост-Индской телеграфной компании О'Шоннеси считал, что подобная четырехслойная изоляция "защищает от воды и грязи, не боится червей и насекомых". Двадцать индийцев изолировали в день 600 м прутков. Следовательно, производительность одного человека составляла 30 м в день. Современные изолировочные машины накладывают на медную проволоку диаметром 0,5—0,7 мм двухслойную обмотку из бумажных лент такой же, как в индийских проводах, ширины со скоростью 30 м/мин. При этом одна работница обслуживает 4—6 машин.

По 15 изолированных прутков сваривались последовательно, образуя 60-метровый отрезок, и пучками по 10 штук доставлялись на слонах к месту прокладки. Механической защитой пучка проводов служили черепицы полуцилиндрической формы, накладываемые одна на другую. Образованный таким образом черепичный желоб после прокладки проводов заполнялся смесью из трех весовых частей песка и одной части смолы. Песок тщательно очищали от загрязнений, промывали для удаления глины и солей и, наконец, высушивали на железном листе, нагреваемом пламенем. Песок смешивался со смолой в железном котле, подогреваемом на костре. По мере расплавления смолы смесь перемешивали, а затем черпаком на длинной ручке заливали в отверстие черепичного желоба. После заливки и охлаждения массы траншею с проводом засыпали глиной, утрамбовывали и поверхность ее выравнивали.

Пятьдесят рабочих прокладывали в день от 300 до 510 м линии. Работа была начата 5 ноября 1851 г. и закончена 7 февраля 1852 г. Три месяца. . . Пятьдесят человек. . . Двадцать пять километров линии. В среднем по восемь километров в месяц! Современная механизированная колонна из 6—8 тракторов, "запряженных цугом", и буксируемого ими кабелеукладчика, вспарывающего своими ножами грунт и непрерывно укладывающего в него кабель, обслуживаемая бригадой из 13—15 человек, прошла бы такую трассу за 5—6 дней, а при легком рыхлом грунте даже за 3—4 дня.

Вернемся к Б. С. Якоби. Приступая после прокладки двух коротких линий к сооружению в 1843 г. длинной 25-километровой подземной линии, он отчетливо представлял себе непригодность стеклянных трубок. В то же время он обратил внимание на то, что каучуковые соединительные втулки на линии 1842 г. достаточно хорошо сохранились. Медные проволоки для новой линии обматывались



Прокладка подземного провода в России в середине XIX века

двумя слоями узкой каучуковой ленты. Изолированные каучуком провода зарывались в землю на глубину 0,5 м без каких-либо защитных труб.

По сути в землю был проложен изолированный, но "беззащитный" провод, естественно оказавшийся ненадежным. Якоби сам признал это: "Испытания и опыты, произведенные на Царскосельской электротелеграфической линии, показали, что укладка изолированных резиной проводников в земле имеет значительные недостатки, а потому для лучшего предохранения проводников от повреждения считаю необходимо-нужным уложить их в деревянные, хорошо осмоленные и закрытые желоба. При этом полагаю достаточным, если деревянные желоба по всему протяжению будут зарыты в землю на 6 вершков* ..." Подобное устройство предлагал он в 1846 г. в пояснительной записке к проекту линии Петербург — Петергоф длиной около 30 км.

Сто с лишним лет спустя, в 1949 г., газета "Вечерний Ленинград" в № 279 (1212) от 27 ноября сообщила, что при производстве земляных работ в районе Московского вокзала ученики школы ФЗО № 26 "Ленметростроя" обнаружили на глубине 85 см деревянный желоб, в котором были заключены стеклянные трубки с изолированным

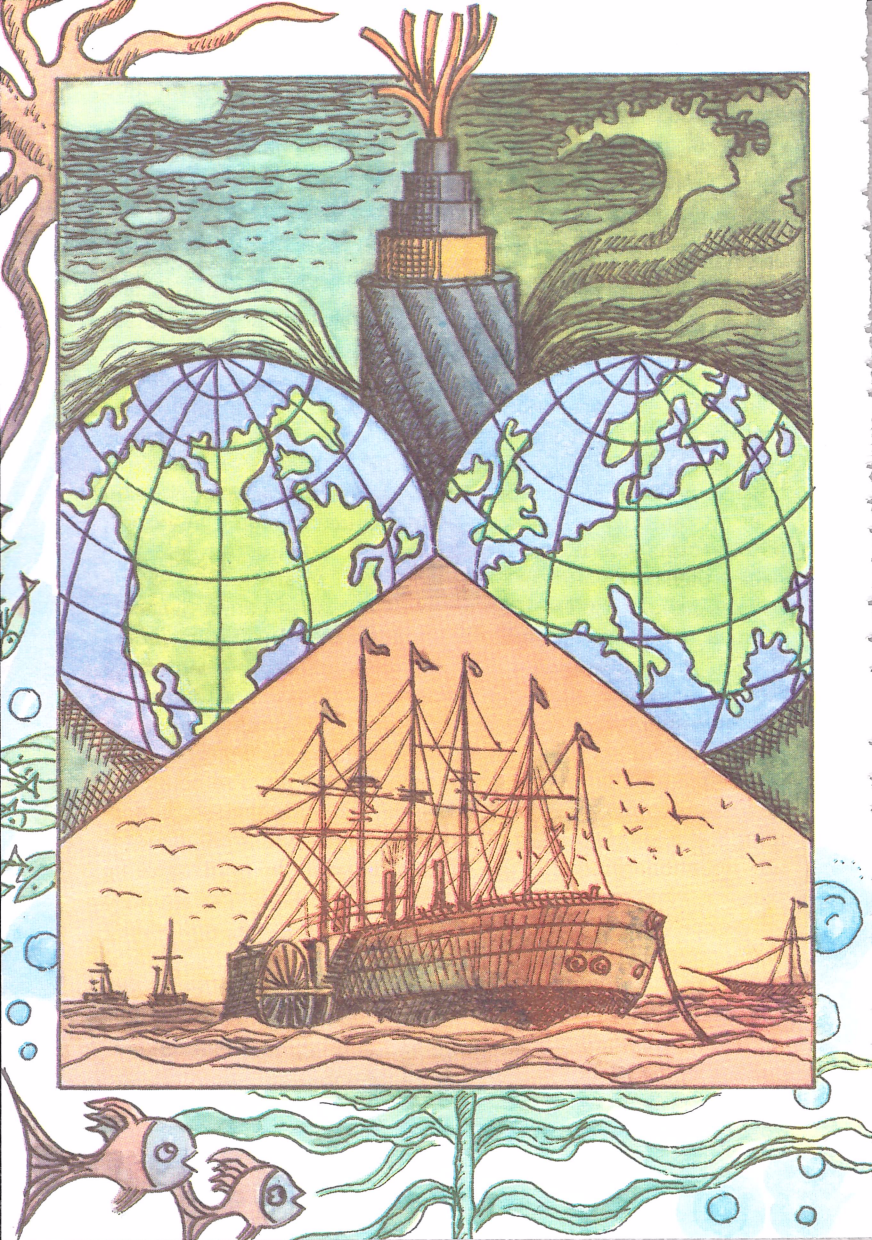
---

* Один вершок равен 44,45 мм.

проводом. Так получили наши современники реальное представление о линии Якоби.

Вскоре Якоби, так же как и ранее Шиллинг, окончательно убедился в несовершенстве и вследствие этого — недолговечности подземных проводных линий и признал единственно приемлемым в то время решением строительство воздушных линий, хотя и трезво оценивал их недостатки. Именно такую линию он предложил соорудить вдоль Николаевской (ныне Октябрьской) железной дороги Петербург — Москва, официально отказавшись "заниматься далее подземными проводами". Однако правительственные чиновники не согласились с мнением Якоби, и подряд на устройство телеграфной линии был отдан немецкой фирме "Сименс и Гальске", которая в 1851 — 1852 гг. проложила подземную линию длиной 651 км из проводов, изолированных гуттаперчей. Линия эта, не просуществовав и двух лет, из-за частых повреждений изоляции и сложности их нахождения была забракована. Казна понесла убытки в сотни тысяч рублей. В 1853 — 1856 гг. эта подземная линия была заменена голыми проводами, подвешенными на столбах. В 1857 г. Якоби писал: ". . . странно то, что, несмотря на мои предупреждения, к постройке подземной линии в Москву приступили уже тогда, когда в Пруссии такие линии на опыте дали настолько неблагоприятные результаты, что решено было отступиться от этой мысли. Утешение находили, правда, в обвинении единственно мышей, доведших эту линию до плачевного состояния. При этом, вероятно, предполагали, что эта порода грызунов, портящих не только гуттаперчевую изолировку, но и самую медную проволоку, или вовсе не существует в России, или имеет здесь другие занятия . . ."

Так была проиграна кабелями их первая битва за существование. Впрочем, проиграна временно и не полностью. Парадоксально, но факт: свой плацдарм кабели сумели отстоять не на земле, а . . . в воде.



Глава 4 КАБЕЛИ УХОДЯТ ПОД ВОДУ

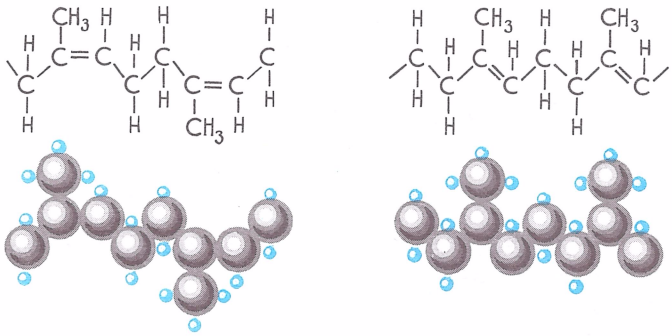
ЧТО МЫ ЗНАЕМ О ГУТТАПЕРЧЕ?

Наше поколение — очень мало, почти ничего. Разве что смутно помнится грустный рассказ Д. В. Григоровича "Гуттаперчевый мальчик" о трагической судьбе маленького артиста дореволюционного цирка, написанный сто лет назад. Как раз тогда, когда гуттаперчевая изоляция кабелей находилась еще, если можно так выразиться, в зените своей славы.

В 1735 г. Парижская академия наук снарядила в Южную Америку экспедицию, имевшую цель измерить дугу меридиана. Один из ее участников географ Шарль Кондамин — смелый, настойчивый и любознательный человек — исследовал флору почти всей долины Амазонки. Знакомясь с бытом бразильских индейцев, он обратил внимание на молочного цвета сок, который получали, делая надрезы на коре высоких пятнистых деревьев (заросли их были раскинуты повсюду вдоль берегов Амазонки). Этим соком покрывали пирóги, и они становились непроницаемы для воды, из него изготовляли бутылки и литые тяжелые, но упругие мячи. Древесное молоко на воздухе быстро сгущалось и темнело, превращаясь в смолистые твердые эластичные комочки. Туземцы называли смолу "као-чу", что значит "слезы дерева". Кондамин собрал большую коллекцию сгустков "као-чу" и представил в Академию. Со временем в Европу начали

поступать готовые каучуковые изделия — галоши, бутылки. Пошли в ход каучуковые резинки — ластики для стирания карандашных линий. Однако, как доставить из далекой Бразилии сам сок, чтобы использовать его на месте, никто не знал. Так продолжалось до тех пор, пока в 1819 г. шотландский химик Чарльз Макинтош не растворил каучуковую смолу. Растворителем оказалось каменноугольное масло "нафта" — отходы при переработке каменного угля в светильный газ. Считается, что открытие Макинтоша было сделано случайно: он спутал во время своих опытов две банки с химикалиями, в одной из которых хранилось каменноугольное масло. Возможно и так. Но эта случайность замкнула цепь отнюдь не случайных поисков растворителя каучука, которыми занимался настойчивый химик. Вскоре были найдены и другие растворители, в частности скипидар. Привезенный из Бразилии затвердевший в дороге каучук растворяли, превращая снова в сок, который использовали для пропитки и покрытия тканей.

Заинтересовались новым материалом и электротехники. П. Л. Шиллинг применил сок каучука для пропитки и обмазки волокнистой изоляции, Б. С. Якоби — каучуковые ленты для обмотки проволоки. Но постепенно выяснилось, что каучук плохо переносит колебания температуры. При легком морозе он деревенел, изоляция лопалась, а при температуре чуть больше обычной комнатной размягчался, буквально таял, изоляция пропускала влагу. Когда казалось, что каучуковая эпоха бесславно закончилась, когда газеты наперебой заговорили об афере и "каучуковом пузыре", когда каучук, казалось, обречен был вовсе уйти со сцены, его в последний момент спас тезка Макинтоша американец Чарльз Гудьир. Спас также "случайно". Проводя сотни и тысячи опытов в течение нескольких лет, он однажды по рассеянности положил густо покрытую серой каучуковую пластину вмес-



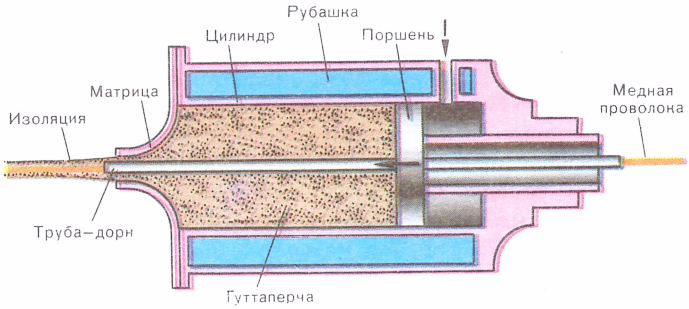
Молекулы натурального каучука и гуттаперчи

то стола на горячую плиту. Вопреки опасению пластина не растаяла, а превратилась в сухую, эластичную и упругую массу. Так в 1840 г. был открыт один из основных процессов резинового производства, получивший название вулканизации каучука. Тем временем инженеры обнаружили некоторое расхождение в свойствах смол, получаемых из сока различных тропических деревьев. Натуральный каучуковый сок — латекс — продукт дерева гевеи. А из сока деревьев, которые туземцы называли изонандра-гутта и изонандра-перча, получалось родственное каучуку вещество гуттаперча. Действительно, каучук и гуттаперча, как говорят химики, изомеры. Оба они высокомолекулярные полимеры изопрена C_5H_8, химические формулы их записываются одинаково. Но только метильные группы CH_3 в молекулах обоих изомеров расположены немного по-разному: в гуттаперче по одну сторону основной цепи, а в каучуке — по обе. В отличие от каучука гуттаперча при нагревании до 70° С становится мягкой, наподобие теста, но не клейкой, а затем при охлаждении затвердевает, сохраняя форму, полученную в нагретом состоянии, и не становясь при этом хрупкой.

Особенность гуттаперчи оказалась весьма удобной для ее переработки. В Европе она появилась в 1843 г. Из гуттаперчи изготовляли куклы, домашнюю посуду, шахматы, гибкие слуховые и переговорные трубки.

Из рекламных объявлений тех лет: "Маленькие и дешевые железнодорожные переговорные трубки позволяют партнерам во время путешествия вести разговор легко и приятно, невзирая на шум, производимый идущим поездом. Разговаривать можно нежным шепотом, так, чтобы даже соседи не слышали, о чем идет речь. Переговорные трубки занимают мало места, легко сворачиваются в кольцо и свободно умещаются даже в шляпе".

В 1847 г. немецкий инженер Вернер Сименс сконструировал пресс для наложения гуттаперчевой изоляции на проволоку. В. Сименс (1816—1892) — один из крупнейших электротехников-практиков своего времени, много сделавший в области электромашиностроения, электроизмерительной и кабельной техники. Не случайно он был избран членом Берлинской академии наук и не случайно единица одной из электротехнических величин — электрической проводимости названа его именем.



Первый пресс для наложения гуттаперчевой изоляции на проволоку

Конструкция пресса Сименса несложна. Гуттаперча загружалась в цилиндр, обогреваемый горячей водой, циркулирующей в его рубашке. В цилиндре совершал возвратно-поступательное движение полый поршень. Поршень двигался вдоль проходящей через него неподвижной и также полой трубы — дорна. Внутри трубы пропускалась изолируемая проволока. Изоляция выдавливалась на проволоку сплошным цилиндрическим слоем через кольцевое отверстие между дорном и матрицей.

Гуттаперчей очень заинтересовался Якоби в процессе своих исканий. "Почти с ожесточением я ухватился за это средство, как только новое вещество появилось на нашем рынке", — писал ученый.

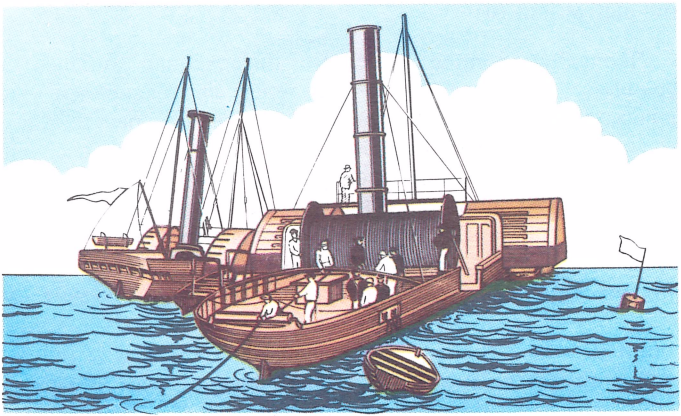
В 1850 г. Сименс предложил затягивать сердечник кабеля в свинцовую трубу. Свой способ он описывал так: "Если свинцовые трубы изготовлены точно, тогда с помощью воздуходувки через них может быть протянут пеньковый шнур, а с его помощью затянут в трубу изолированный гуттаперчей провод. После этого труба пропускается через стальную волоку и обжимается, плотно охватывая изоляцию". Остается добавить, что затягивание провода, вернее скрученных проводов, в свинцовые трубы длиной 15 м производили вручную — мускульной силой нескольких человек. Несмотря на примитивность способа, о нем снова вспомнили сто лет спустя, когда при первых попытках внедрения алюминиевых оболочек взамен свинцовых сердечник кабеля затягивали, конечно, уже не вручную, в заранее изготовленную алюминиевую трубу, которую затем осаживали, также пропуская через волоку.

Подобная технология естественно, допускала изготовление весьма небольшого количества освинцованных кабелей, преимущественно для использования в городах. Подземная же прокладка не защищенных свинцовой оболочкой проводов даже с гуттаперчевой изоляцией вновь потерпела фиаско. Оказалось, что в присутствии

кислорода воздуха и особенно при колебаниях температуры гуттаперча быстро окисляется, ссыхается, как теперь принято говорить, старится и теряет свои физические и электроизоляционные свойства. К счастью, обнаружился и другой — положительный — феномен гуттаперчи: в воде она чувствовала себя превосходно и способна была сохранять свои свойства длительное время.

Как же попала гуттаперча в воду? Воздушные столбовые линии электрического телеграфа все увереннее шествовали по земле. Подчеркнем "по земле". Но строители линий каждый раз становились в тупик при подходе к реке, озеру или каналу. При необходимости пересечь водоемы сначала строили высокие мачты, однако вскоре убедились в трудности и ненадежности такого метода и в конце 1840-х годов попробовали проложить изолированные гуттаперчей провода как отдельные, так и скрученные вместе по дну нескольких рек и озер. Гуттаперча вела себя отлично! Она не нуждалась в свинцовой оболочке. В то же время речные кабели (начнем для краткости называть их кабелями, а несколько позже обоснуем свою терминологическую вольность) подстерегала другая опасность — повреждения механического характера от ударов судовых якорей, придонного льда и тому подобного. Для защиты от механических повреждений лежащего на дне реки или озера кабеля с каждой его стороны параллельно прокладывали железную цепь или проволочный канат (трос). Пробовали располагать вдоль кабеля толстые стальные проволоки (диаметром 10 мм) и скреплять всю конструкцию вместе путем спиральной обмотки ее одной стальной проволокой. Главное заключалось в том, что кабели с гуттаперчевой не защищенной от влаги изоляцией надежно работали в речной воде. Ну, а в морской?

Последний вопрос особенно интересовал Англию и Францию. Несмотря на то что телеграф развивался уже целых десять лет, обе страны, разделенные расстоянием всего лишь в несколько десятков километров, все еще не имели между собой электрической связи и довольствовались почтовой. Семафорный телеграф нельзя было применить, так как его станции перекрывали расстояние не более 10—12 км. Бурное развитие капиталистического способа производства к середине XIX века, значительный рост продукции фабрик и заводов, расширение торговли и товарооборота требовали быстрой, оперативной, надежной связи как внутринациональной, так и между государствами. Неудивительно, что уже в 1849 г. был предложен проект прокладки подводного кабеля через пролив Па-де-Кале. Проект представили англичане братья Бретт: Джон — бывший продавец антикварных ценностей и Джекоб — инженер, занимавшийся телеграфией. Субсидировало реализацию проекта французское правительство, консервативные английские официальные и деловые круги из осторожности воздержались. Инициаторы организовали компанию с длинным названием "Генеральная океаническая и подземная электропечатающая телеграфная компания братьев Бретт" и заключили контракт на изготовление кабеля с английской фирмой "Гутта Перча" в Ньюкасле, имевшей уже небольшой опыт изготовления подземных кабелей (во Франции, например, не было еще предприятия, способного выполнить столь колоссальную для того времени работу). Сделанный без всяких инженерных расчетов (да никто еще и не знал, что и как надо рассчитывать) кабель был, что называется, архипримитивен. Медная проволока диаметром 2 мм была покрыта слоем гуттаперчи толщиной 5,5 мм; кабель — точнее все же провод — имел наружный диаметр 13 мм; он был тоньше мизинца. Кабель был намотан



Прокладка первого подводного кабеля через пролив Па-де-Кале судном "Голиаф" в 1850 г.

на цилиндр (современное название "кабельный барабан") диаметром 3—4 м и длиной 5 м. Масса кабеля длиной 45 км на барабане составляла свыше 6 т.

Барабан с кабелем был установлен на корме небольшого парового буксира "Голиаф" так, что он мог свободно вращаться на металлической оси, закрепленной в стойках. Предварительно другой пароход наметил посредством буев с флажками трассу прокладки линии. Утром 28 августа 1850 г. "Голиаф" начал прокладку кабеля от мыса Саут-Форленд в 5 км северо-восточнее английского города Дувр. Прокладка шла медленно; через каждые 100 м приходилось останавливаться, чтобы привязывать к кабелю свинцовые грузила массой 10 кг, без которых кабель не опускался на дно. Дело в том, что вес кабеля оказался равным весу вытесненной им воды. Зная размеры токопроводящей жилы и изоляции, плотность меди и гуттаперчи — соответственно $8{,}9 \cdot 10^3$

и $(0{,}8–0{,}9)\,10^3$ кг/м^3, или, что более привычно, 8,9 и (0,8–0,9) т/м^3 (г/см^3), — легко определить, что 1 м кабеля массой 0,135–0,140 кг весил в воздухе примерно 1,35 Н. Столько же весили вытесненные им 133 см^3 ($133 \cdot 10^{-6}$ м^3) морской воды, средняя плотность которой $1{,}03 \cdot 10^3$ кг/м^3 (удельный вес $10{,}3 \cdot 10^3$ Н/кг). Свинцовые грузила увеличивали вес кабеля почти на 70%. Скорость прокладки составляла 6–7 км/ч.

К вечеру того же дня конец кабеля был выведен на французский берег у мыса Гри-Не, что в 20 км к юго-западу от города Кале. Однако принять сколько-нибудь связные сигналы, передаваемые с английского берега, не удавалось. Лишь один раз сквозь хаос точек и тире буквально прорвалось несколько доступных расшифровке сочетаний. Их и принято считать текстом первой телеграммы, переданной по первому морскому кабелю. Первой, но и. . . последней. Тогда еще не умели рассчитывать ни условия передачи по телеграфной линии, ни электрические характеристики, или параметры кабеля. Теперь мы можем сказать, что слишком велики были его электрическое сопротивление постоянному току и электрическая емкость. К тому же на следующий день тоненький кабель (точнее, провод) был случайно оборван невдалеке от французского берега рыболовной снастью. Увидев блеск медной жилы на темном фоне гуттаперчевой изоляции, рыбак принял медь за золото и вырезал приличный кусок кабеля. Эпизод этот стал хрестоматийным, и злосчастного французского рыбака не обходит вниманием ни один из популяризаторов истории электросвязи.

Так бесславно закончил свое однодневное существование первый морской кабель. Остается напомнить, что он был одножильным, вторым проводом линии служила морская вода, электропроводность которой в 100–1000 раз выше электропроводности земли и пресной воды. Удельная электрическая проводимость морской воды

4 См/м. Несмотря на неудачу, все же была доказана принципиальная возможность телеграфирования по подводному кабелю.

Уровень представления того времени о кабелях электросвязи иллюстрирует следующий исторический анекдот. Некий джентльмен, увидев подготовленный к прокладке кабель, очень удивился и заявил: "Люди, которые это организовывают, должно быть, не в своем уме: как можно подергивать такой длинный и тяжелый провод, да еще если он лежит на неровном дне моря". Джентльмен был убежден, что сигналы с английского берега на французский будут передаваться не иначе, как путем подергивания провода.

На следующий год был изготовлен новый кабель, совершенно не похожий на предыдущий. Он состоял из четырех медных жил диаметром 1,5 мм, изолированных каждая слоем гуттаперчи толщиной 2,5 мм. Изолированные жилы скручивались между собой (к тому времени из канатного производства были заимствованы крутильные машины так называемого клетьевого типа, появившиеся впервые в 1837 г.). Затем скрученный сердечник обматывался просмоленной пенькой толщиной 2 мм. Главной же примечательностью кабеля была стальная броня. Вспомним, что речные кабели защищались от механических повреждений лежащими по бокам двумя стальными тросами. Нашелся остроумный изобретатель (очень жаль, что история не сохранила его имени!), который сформулировал свою мысль примерно так: "Зачем помещать кабель рядом с тросом, почему бы не поместить его внутри троса?"

Так в 1850 г. была изобретена броня подводных кабелей из круглых стальных оцинкованных (во избежание коррозии) проволок. Броня, остававшаяся на протяжении ста лет неотъемлемой частью любого подводного кабеля, будь то речной, морской или океанский. Поверх пеньки на кабель 1851 г. накладывались 10 стальных проволок

диаметром 7,5 мм. Все они располагались по спирали (как повив в стальном тросе) в один слой, прилегая одна к другой и образуя таким образом сплошное защитное покрытие. Наружный диаметр кабеля был 33 мм, его масса (4,5 кг/м) в тридцать с лишним раз превышала массу предыдущего кабеля. Новый кабель не нуждался в дополнительных свинцовых грузилах. На рисунке показаны сечения морских кабелей 1850 и 1851 гг., выполненные в одинаковом масштабе. Рисунок сделан схематически. В действительности скрученные жилы и наложенные по спирали бронепроволоки в поперечном сечении кабеля имеют форму не круга, а эллипса, большая ось которого превышает диаметр круга примерно на 5 %.

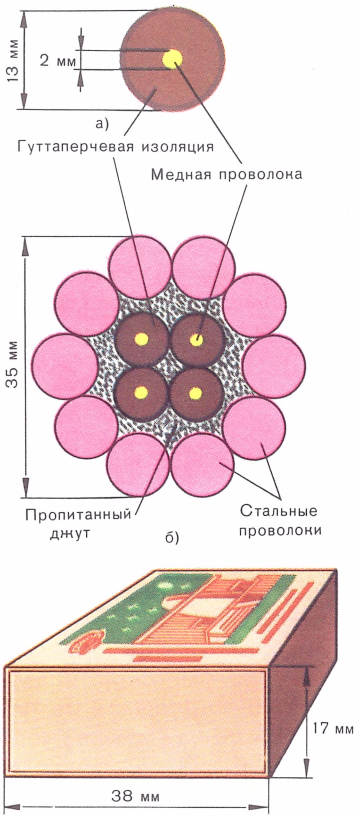
Наконец, появился настоящий кабель, содержащий три составные части: токопроводящую, изолирующую и защитную. Переключимся ненадолго с техники на терминологию. Значит может быть кабель и без оболочки? Да, в подводных кабелях с изоляцией, не боящейся влаги (это гуттаперчевая изоляция XIX века, это и полиэтиленовая изоляция второй половины XX века), нет необходимости в оболочке, которая защищала бы их от влияния окружающей среды.

Остается произнести сакраментальную фразу, что нет правил без исключения. (И сразу же вспоминается заученное со школьной скамьи: "Из, воз, низ, раз, без, чрез меняют "з" на "с" перед глухими согласными".)

В данном кабеле защитным компонентом являлась стальная проволочная броня. Второй морской кабель был проложен 25 сентября 1851 г. между Дувром и местечком Сангат в 8—9 км юго-западнее Кале на глубине около 50 м и после нескольких недель испытаний сдан в эксплуатацию.

Первое время передача депеш между Парижем и Лондоном длилась от получаса до часа. Целый год не решались соединить подводную кабельную линию с наземной воз-

душной, не представляя, как может электрический ток переходить из одной в другую. На пути из Лондона в Париж дважды производился переприем телеграмм: сначала в Дувре и затем в Кале. Только 1 ноября 1852 г. было установлено прямое сообщение между обеими столицами без промежуточных станций. Успех действующей морской телеграфной линии послужил мощным толчком к развитию кабельного производства. Так, компания "Гутта Перча", специализировавшаяся на наложении изоляции, за последующие два года изготовила и поставила фирмам, производившим бронирование кабелей, более 2500 км изолированных жил — больше, чем их было сделано за все предшествующее десятилетие.



Первые морские телеграфные кабели: 1850 г. (*а*) и 1851 г. (*б*)

В 1852—1854 гг. подводные линии соединили Англию сначала с Ирландией, с Бельгией и вслед за ними с Германией и Голландией. В 1854 г. был проложен подводный кабель

в Средиземном море между Сардинией и Корсикой, а затем между Корсикой и Италией. Казалось для подводной телеграфии нет преград. И взгляд смельчаков не замедлил обратиться к океану.

Прежде чем обратиться к нему и мы, вспомним высказанную в предисловии обиду на то, что кабелям связи не слишком повезло в популярной литературе. Мало о них писали, а если и упоминали, то часто совершенно не заботясь о точности. Например, в книге Л. Соучека сказано, что первый морской кабель был толщиной в "четверть сантиметра", то есть в 2,5 мм, а второй — в $4^{1/2}$ дюйма (около 115 мм). Оба значения далеки от действительности. Современная промышленность выпускает кабели различных размеров. Есть среди них и миниатюрные, с карандашный грифель. Но под водой такие кабели никогда не прокладывались. Так же как и суперкабели диаметром свыше 100 мм. Напомним фактические размеры обоих морских кабелей: 13 и 33 мм.

Только улыбку может вызвать описание бронированного кабеля 1851 г., приведенное в другой книге: "Кабель представлял собой настоящий стальной трос большого диаметра, сплетенный из многих проводов и покрытый несколькими слоями изоляции". Как говорится, шиворот-навыворот. Или еще одна абракадабра: "кабель из гальванизированных проводов" (???).

БИТВА ЗА АТЛАНТИКУ

А может быть правильнее "Битва с Атлантикой"? История прокладки первого трансатлантического телеграфного кабеля чем-то напоминает историю путешествий Христофора Колумба. Конечно, аналогия чисто внешняя, автор далек от уравнивания значимости обоих событий. Но все же. . . Плавания Колумба пришлись на десятиле-

тие с 1492 г. по 1502 г. Эпопея прокладки кабеля тоже длилась десять лет — с 1857 г. по 1866 г. Колумб совершил четыре экспедиции на пути к американскому материку. Для того чтобы кабель соединил Европу с Америкой, понадобилось пять экспедиций. Драматических ситуаций как в тех, так и в других плаваниях было хоть отбавляй. Разве что в XIX веке не раздавался клич: "Адмирала на рею!" — в смысле вздергивания руководителя экспедиции на рее. Наконец, стараниями Колумба была открыта Америка. Прокладка трансатлантического телеграфного кабеля "приблизила" Америку к Европе. Представление о том, насколько назрела в середине XIX века потребность в быстрой электрической связи между Старым и Новым Светом дает таблица, показывающая, с какой скоростью могла передаваться корреспонденция с одного материка на другой.

Таблица 3

Длительность плавания через океан между Европой и Америкой

Название парохода	Год	Время в пути, сутки
"Саванна"	1819	26
"Сириус"	1838	19
"Грейт Вестерн"	1838	16
"Грейт Истерн"	1860	11

В таблице приведены рекордные показатели. В среднем сообщения с одного полушария Земли на другое поступали через три недели. Идущие из Европы суда, пересекая океан, заходили, как правило, на остров Ньюфаундленд для дозаправки углем и пресной водой и текущего ремонта, проводили там некоторое время, после чего продолжали свой путь до Нью-Йорка. В 1853 г. инженер Фредерик Гисборн задумал соединить телеграфной линией Нью-Йорк с главным городом Ньюфаундленда Сент-Джонсом. Линия длиной свыше 1500 км проектирова-

лась большей частью как воздушная столбовая, а при пересечении многочисленных проливов — как подводная кабельная.

Благодаря такой линии по прибытии судна в Сент-Джонс привезенные на нем известия передавались бы в Нью-Йорк по телефону и тем самым выгадывалось бы несколько дней. Но исключительно тяжелые климатические условия, труднодоступный рельеф местности делали проект почти неосуществимым. Компания, ведущая проект, обанкротилась, а ее организатор Гисборн отправился на поиски денег в Нью-Йорк, где случайно познакомился с предпринимателем Сайрусом Филдом.

Последний не был ни ученым, ни инженером, не увлекался он и телеграфией. Однако его имя заслуженно упоминается во всех книгах по истории электросвязи. Филд был хорошим организатором, умеющим масштабно мыслить и четко видеть перспективу. Выслушав Гисборна, он сказал: "Ваш проект никуда не годен. Если нельзя проложить проволоку от мыса Рэ до Валенсии (между о. Ньюфаундленд и Ирландией. — *Прим. авт.)*, то ваша нелепая пароходная линия никому не нужна. Если же можно решить эту великую задачу, то ваш проект опять не имеет смысла, потому что в таком случае ничто не мешало бы проложить линию прямо из Европы в Америку".

Как мы увидим дальше, в своей негативной оценке проекта Гисборна Филд был чересчур категоричен, но главное — "великую задачу" — он сформулировал правильно: "пересечь телеграфным кабелем океан". Благодаря энергии Филда в 1854 г. была основана "Нью-Йорско-Ньюфаундлендская и Лондонская телеграфная компания", которая незамедлительно приступила к делу. Грандиозность задачи иллюстрируют две цифры: предстояло проложить кабель длиной около 4000 км на океанских глубинах до 4500 м.

Вспоминается как лет двадцать пять — тридцать тому назад на лекциях о трансокеанских кабелях связи кто-нибудь из слушателей недоверчиво переспрашивал: "Неужели кабель укладывается на дно морское, разве он не плавает в воде?". Очень удивляться этому не следует. Были "изобретатели", предлагавшие подвесить кабель в середине океанских глубин на специальных подводных шарах, наполненных воздухом. У специалистов вызывало сомнение, сможет ли электрический ток пройти по проводам такое огромное расстояние. Для выяснения этого в США были проведены опыты на воздушной линии Нью-Йорк—Чарлстон—Саванна—Новый Орлеан длиной 3000 км. В Англии в ночь на 9 октября 1856 г. были соединены в одну цепь провода всех главных телеграфных линий, включая ирландские. Длина искусственной цепи, составленной преимущественно из воздушных проводов и частично из подземных и даже подводных кабелей, достигала 8000 км. Сигналы проходили так же легко, как и в американском эксперименте. Возможно, с позиций отягощенных всевозможными познаниями современных людей электротехники XIX века с их открытиями и восторгами кажутся почти первобытными землянами. Теперь любой старшеклассник скажет, что электрический сигнал проскочил всю "архидлинную" линию менее чем за 0,03 с, или 30 миллисекунд.

К 1856 г. за два с половиной года была все же сооружена и открыта линия Нью-Йорк — Ньюфаундленд. Первоначальный проект Гисборна оказался не столь уж бессмысленным. Пора было начинать наступление на океан.

Хроника всех пяти попыток прокладки первого трансатлантического телеграфного кабеля детально рассказана в нескольких книгах. В частности, русского читателя с этим событием раньше других познакомил преподаватель Лазаревского института восточных языков П. Д. Первов, четыре издания книги которого "Проложение пер-

вого телеграфа через океан" выходили соответственно в 1903, 1911, 1923 и 1930 гг.

Опираясь на основные вехи десятилетней эпопеи, перенесем акцент на ее "кабельные проблемы". Чтобы изготовить 4000 км кабеля (с запасом на неровности дна океана по трассе), нужно было проволочить почти 30 000 км медной и свыше 500000 км стальной проволоки. Любители ассоциаций сказали бы, что из такого количества проволоки можно было протянуть стальную нить от Земли до Луны да еще почти на треть пути обратно или опоясать этой нитью 13 раз земной шар. Понять, почему названы именно такие количества проволоки, помогают таблица 4, в которой приведены конструктивные данные кабеля, а также рисунок.

Токопроводящая жила была не однопроволочной, а скручивалась из семи проволок, после чего покрывалась тремя тонкими слоями гуттаперчевой изоляции. Сложной была конструкция брони: сначала семь тонких стальных проволок скручивались между собой в литцу, или стренгу, затем 18 таких стренг накладывались на подушку из пропитанного джута. Весь кабель был изготовлен за полгода, следовательно, производственная мощность составляла в среднем около 700 км в месяц. Жилу изолировала компания "Гутта Перча", бронировали кабель две другие фирмы. Не обошлось без курьеза. На каждую половину кабеля стальные проволоки поначалу были наложены в противоположных направлениях.

Все же к июлю 1857 г. кабель был полностью изготовлен. Не следует полагать, что идея его прокладки встречала только доброжелателей и единомышленников. Один из скептиков заявил: "Погрузить кабель на такую огромную глубину с точки зрения математики невозможно, а если это вдруг почему либо получится, то по такому кабелю все равно не удастся передать ни одного сигнала, поскольку на такой глубине сигналы не смогут продвигаться".

Первая прокладка трансатлантического телеграфного кабеля началась из маленькой бухты Валенсия в юго-западной части Ирландии 6 августа 1857 г. Для этой цели были специально приспособлены два военных судна: самый большой паровой фрегат мира американский "Ниагара" и английский парусник "Агамемнон". Так вторично, через 3000 лет вошло в историю связи на земле имя Агамемнона. Большая часть кабеля, общая масса которого составляла 2000 т, была погружена на "Ниагару" водоизмещением 5200 т, остальное — на "Агамемнон" водоизмещением 3200 т. Трюмы кораблей были расширены и превращены в большие баки (тенксы); на корме была установлена машина наподобие лебедки, которая должна была постепенно опускать кабель в океан; были сооружены желоба, по которым кабель мог скользить, различные натяжные и тормозные механизмы.

Изолированные жилы изготовляли длинами по 3200 м и наматывали на барабаны. Затем их подвергали двойному испытанию — измеряли электрические сопротивления токопроводящей жилы и изоляции. После испытания строительные длины сращивали между собой. Концы каждой из семи медных проволок срезали наискось, накладывали один на другой и спаивали серебром. Гуттаперчевую изоляцию склеивали и шов обматывали гуттаперчевой лентой. Заключительной операцией было наложение стальной брони.

Прокладку кабеля начала "Ниагара" со скоростью 2—4 узла. (Один узел — мера скорости, принятая на флоте и равная одной морской миле в час. Морская миля больше сухопутной и равна 1852 м. Следовательно, скорость прокладки составляла 3,7 — 7,5 км/ч.) Все шло хорошо. "Ниагара" поддерживала постоянную связь с берегом по прокладываемому ею кабелю, но вдруг произошла беда. Слишком резко притормозили кабелеукладочную машину, и кабель оборвался — 620 км его остались лежать

на глубине около 3500 м. Первая попытка — первая неудача. Экспедиция, длившаяся одну неделю, возвратилась ни с чем. Впрочем, так ли ни с чем? Был приобретен важный опыт, практически доказаны и возможность прокладки глубоководного кабеля, и его работоспособность. Подобное многого стоило.

Следующие две попытки пришлись на лето 1858 г. За год был восполнен запас кабеля и полностью реконструирована кабелеукладочная машина, в частности применен саморегулирующийся тормоз. На сей раз решено было начать прокладку кабеля в океане от средней точки трассы. "Ниагара" и "Агамемнон" должны были расходиться в противоположные стороны. Предварительно были проведены испытания в Бискайском заливе. Они заключались в репетиции сращивания обеих половин кабеля на плаву и одновременной прокладки его двумя расходящимися судами. Опытная прокладка была успешно произведена на глубине 6000 м. Кроме того, опробовали постановку на воде огромных буев, которые должны были фиксировать место обрыва кабеля.

Вторая прокладка кабеля началась 26 июня 1858 г. и длилась она всего три-четыре дня. За это время кабель обрывался трижды: сначала на "Ниагаре" после нескольких километров пути, потом на "Агамемноне", когда суда разошлись уже на 150 км и, наконец, одновременно на обоих судах после прокладки 370 км. Корабли перед тем испытали жесточайший шторм, нехватало продовольствия и решено было возвратиться в Англию. Но и эта неудача не обескуражила энтузиастов. Ровно через месяц, в четверг 29 июля 1858 г., "Ниагара" и "Агамемнон" снова возвратились в Атлантику, опустили на дно сросток двух половин кабеля со свинцовым грузилом и начали расходиться.

Прокладка, хотя и не без приключений, велась непрерывно всю неделю. Утром в четверг 5 августа 1858 г.

"Агамемнон" вошел в ирландскую бухту Валенсия, а "Ниагара" бросила якорь в заливе Тринити на восточном побережье Ньюфаундленда. Подводная кабельная линия электросвязи длиной 3800 км была проложена. Через десять дней 16 августа по ней была передана первая приветственная телеграмма английской королевы Виктории пятнадцатому президенту США Джеймсу Бьюкенену. Наконец, электрический телеграф связал Европу с Америкой.

Волна празднеств прокатилась по Соединенным Штатам и Англии. Газеты изощрялись в дифирамбах. "Таймс" прибегла даже к такой гиперболе: "Атлантический океан высушен. Теперь мы воссоединились не только в мечтах, но и на деле. . ." С. Морзе назвал достигнутый результат "величайшим подвигом столетия".

Образно и точно написал впоследствии Стефан Цвейг: "Небывалая победа: впервые с момента возникновения мышления на земле, мысль со скоростью мысли пронеслась через океан".

Однако ликование длилось недолго. Трагедия наступила через две недели. Еще 31 августа Нью-Йорк торжественно чествовал Сайруса Филда (даже отрезок кабеля с триумфом был провезен по городу), а уже 1 сентября аппарат не смог принять из-за океана ни одного ясного сигнала. Линия, которая, к слову сказать, все две недели действовала крайне неустойчиво, полностью потеряла работоспособность и прекратила свое существование.

По вспыхнувшей, как фейерверк, и так же быстро угасшей линии за две недели ее работы "через пень-колоду" было передано 400 телеграмм, содержащих 4360 слов. Континенты, как и прежде, оказались оторванными один от другого. Что же послужило причиной выхода кабеля из строя? Скорее всего, пробой изоляции слишком высоким для нее напряжением береговой питающей батареи — 2000 В. Напряжение увеличивали, чтобы усилить

передаваемые сигналы; в противном случае недостаточно чувствительные приемные аппараты на таком огромном расстоянии их не улавливали.

КОНСТРУКТОР КАБЕЛЕЙ – ЛОРД

Прошло еще восемь долгих лет, прежде чем надежда стала реальностью. Это были годы упорных поисков, преодоления трудностей, романтики научных открытий и героического труда, рискованных и остроумных решений, подлинно драматических, а порой и курьезных эпизодов, в конечном счете годы, приведшие к победе. Специальная правительственная комиссия почти год расследовала причины неудачи трансатлантической, а также другой подводной кабельной линии длиной 2250 км, проложенной через Красное море в Персидский залив и являвшейся последним звеном телеграфной цепи из Англии в Индию. Неудачи объяснялись главным образом плохой конструкцией кабелей, слабой квалификацией их создателей, низким качеством применяемых материалов, а также отсутствием навыков подводной прокладки и удовлетворительных средств для нее. Вероятно, не будет ошибкой указать и на недостаточно высокий уровень электротехники того времени, что красноречиво иллюстрирует высказывание одного из свидетелей, вызванных на комиссию: "Очень жаль, что те, кто разбирает этот вопрос, сами не стремятся понять закон Ома. Это исключило бы ненужные споры".

И все же, несмотря на неудачу, был накоплен и освоен огромный опыт, позволивший в корне изменить конструкцию кабеля, поднять на совершенно новую ступень уровень его производства и испытаний, повысить требования к материалам и к качеству сращивания отдельных строительных длин. За этот период было изготовлено свыше 30000 км кабелей для 75 подводных линий. Ус-

пешно был проложен кабель через Средиземное море — линия длиной 1500 км соединила остров Мальту с Александрией.

К составлению технических условий на новый кабель были привлечены научные учреждения и видные ученые и инженеры, среди них профессор Чарльз Уитстон, братья Вернер и Вильям Сименсы, Латимер Кларк. Душой этого коллектива по-прежнему был главный консультант по электрической части знаменитый Уильям Томсон. Один из наиболее выдающихся ученых XIX столетия разносторонний физик-теоретик с блестящим инженерным видением, один из основоположников термодинамики У. Томсон (1824—1907) внес также весомый вклад в математику, гидродинамику, электротехнику. Он ввел понятие абсолютной температуры и создал основы теории электрических колебаний, изобрел много физических приборов и инструментов. Томсон — первый ученый, получивший (в 1892 г.) за свои научные заслуги звание пэра — лорда Кельвина. Его новым именем названы температурная шкала ("температура Кельвина") и единица термодинамической температуры в системе СИ — кельвин (К). Еще в 1854 г. Томсон занялся исследованием условий передачи электрического тока по телеграфному кабелю, поставив перед собой задачу определить, через сколько времени посланный сигнал — точка, тире — достигает приемника на противоположном конце кабеля.

Не следует думать, что электрический ток распространяется по кабелю со скоростью света, равной 300000 км/с. Скорость распространения тока по жилам кабеля зависит, во-первых, от частоты тока и, во-вторых, от электрических свойств самого кабеля; по-научному их принято называть "электрические характеристики" или "электрические параметры", более конкретно — "параметры передачи". К числу таких параметров относятся, в первую очередь, электрическое сопротивление и электрическая емкость. Что такое сопротивление, объяснять, вероятно, не нужно.

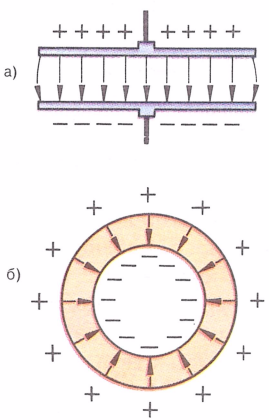
Напомним, что оно зависит от материала проводника и его геометрических размеров. Сопротивление токопроводящей жилы кабеля

$$R_{ж} = \rho \frac{l}{S}.$$

Здесь ρ — величина, зависящая от рода вещества и в известной мере от его состояния, например от температуры; она называется удельным сопротивлением проводника. Единица сопротивления — ом — названа в честь выдающегося немецкого физика Георга Ома. Если выразить длину токопроводящей жилы (l) в метрах, а площадь ее поперечного сечения (S) в метрах квадратных, то единица ρ будет выражена в омах метр. Но кабель — изделие длинное или, как говорят инженеры, длинномерное, а диаметр его жил — маленький, измеряемый не метрами, а миллиметрами. Поэтому на практике обычно принято выражать длину кабеля в километрах, а диаметр жил в миллиметрах. Тогда единицей ρ будет Ом·мм^2/км. Из всех металлов наибольшей электропроводностью, следовательно, наименьшим удельным сопротивлением обладает серебро ($\rho_{Ag} = 16$ Ом·мм^2/км при 20°С), вслед за ним идет медь ($\rho_{Cu} = 17$), далее золото (24), алюминий (28). Для удобства сравнения параметров разных кабелей сопротивление жил относят к единице длины, то есть к 1 км:

$$R_{ж} = \frac{\rho}{S} = \frac{4\rho}{\pi d_0^2},$$

где d_0 — диаметр токопроводящей жилы, мм.



Конденсаторы:
а — плоский;
б — цилиндрический

Сопротивление всей длины кабеля

$$R_к = R_ж l .$$

Одножильный кабель является цилиндрическим конденсатором. Вспомним, что конденсатором называются два проводника, разделенные слоем диэлектрика. Конденсатор характеризуется своей электрической емкостью, или просто емкостью, которая зависит от его геометрических размеров, формы и свойств диэлектрика. Так, емкость плоского конденсатора в фарадах

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{a},$$

а цилиндрического, отнесенная к единице длины,

$$C = \frac{2\pi\epsilon_r \epsilon_0}{\ln D/d_0}.$$

В обеих формулах ϵ_r — относительная диэлектрическая проницаемость изоляции — величина безразмерная; $\epsilon_0 = \frac{10^7}{4\pi c^2} = \frac{1}{4\pi 9 \cdot 10^9}$ — электрическая постоянная, Ф/м; S — площадь пластин конденсатора; a — расстояние между ними; d_0 и D — соответственно диаметры под изоляцией (то есть токопроводящей жилы) и по изоляции; c — скорость света в вакууме ($3 \cdot 10^8$ м/с).

Вторым проводником (или обкладкой) одножильного подводного кабеля служит морская вода, проникающая между стальными проволоками брони непосредственно к поверхности изоляции. Единица емкости называется фарад в честь выдающегося английского физика и электротехника, открывшего явление электромагнитной индукции, Майкла Фарадея. Но емкость в один фарад (1 Ф) очень велика. Поэтому на практике используют доли этой единицы: микрофарад (мкФ) — 10^{-6} Ф, нанофарад (нФ) — 10^{-9} Ф и пикофарад (пФ) — 10^{-12} Ф. Так, емкость земного шара равна всего 709 мкФ. Так же, как и

сопротивление, емкость кабеля принято относить к длине в 1 км. При этом емкость всего кабеля длиной l есть $C_к = Cl$.

При нажатии телеграфного ключа на передающей станции ток от батареи поступает в кабель, но достигает приемной станции не сразу, а по прошествии некоторого промежутка времени θ. Так как частота постоянного тока равна нулю, то этот промежуток времени зависит от произведения $C_к R_к$, называемого постоянной времени кабеля. Время $\theta = 0{,}03\ C_к R_к = 0{,}03\ Cl\, R_ж l = 0{,}03\ CR_ж l^2$ с. Скорость распространения постоянного электрического тока по кабелям относительно невелика — 10000—40000 км/с. Попробуем рассчитать значение θ для первого недолговечного трансатлантического телеграфного кабеля длиной 3800 км, конструктивные размеры и электрические параметры которого приведены в табл. 4:

$$\theta = 0{,}03 \times 0{,}015 \times 6 \times 3800^2 = 0{,}4 \text{ с.}$$

Следовательно, постоянный ток распространялся по тому кабелю со скоростью 9500 км/с.

На приемном конце длинной линии в отличие от короткой ток не сразу достигает установившегося значения, определяемого законом Ома $I = U/R$. В первый момент времени θ его значение i_1 всего лишь 0,16 % от I. Лишь через промежуток времени 6θ (в данном случае через 2,4 с) $i_6 = 0{,}5I$; через 10θ (4 с) $i_{10} = 0{,}8I$ и только через 25θ (10 с) ток вплотную приблизится к установившемуся значению ($i_{25} = 0{,}994\ I$). Зависимость нарастания входящего тока от времени называется кривой Томсона. Чтобы входящий ток успел достигнуть заданного значения и кабель после этого разрядился, посылки последовательных сигналов не должны быть слишком частыми. Несоблюдение этого привело к тому, что принимаемые на конце линии 1858 г. сигналы как бы "налезали" один на

Таблица 4

Конструктивные и электрические параметры трансатлантических телеграфных кабелей 1857—1858 и 1865—1866 гг.

Параметр	Единица измерения	Значение в кабелях	
		1857 и 1858 гг.	1865 и 1866 гг.
Число и диаметр медных проволок, образующих токопроводящую жилу	мм	7×0,71	7×1,245
Диаметр токопроводящей жилы	мм	2,15	3,74
Сечение токопроводящей жилы	$мм^2$	2,8	8,5
Электрическое сопротивление жилы	Ом/км	6	2
Число слоев гуттаперчевой изоляции	—	3	4*
Толщина изоляции	мм	2,8	2,8
Диаметр по изоляции	мм	7,8	9,5
Электрическая емкость кабеля	Ф/км	$0{,}15 \cdot 10^{-6}$	$0{,}21 \cdot 10^{-6}$
Толщина слоя джута (подушки под броню)	мм	1,7—1,8	2,2—2,3
Число стальных проволок или стренг брони	—	18×(7×1)	10**
Диаметр бронепроволок	мм	0,71	2,24
Наружный диаметр кабеля	мм	16	28
Масса кабеля	кг/км	500	1000
Вес кабеля в воздухе	кН/км	5	10
Вес кабеля в воде	кН/км	3	3,9
Разрывная прочность кабеля	кН	33	78
Разрывная длина кабеля в воде	км	11	20

*Чередуются с пятью слоями чаттертон-компаунда.

**Каждая бронепроволока обмотана слоем пропитанного джута толщиной примерно 2,5 мм.

другой, из-за чего телеграфная передача большей частью была недостаточно разборчивой.

Существует понятие скорости телеграфной передачи, определяемой промежутком времени между двумя посылками тока, при котором оба сигнала принимаются вполне отчетливо. Не следует смешивать этот термин со скоростью распространения тока по проводу. Томсон показал, что скорость телеграфной передачи обратно пропорциональна постоянной времени кабеля:

$$w = \frac{k}{C_к R_к} = \frac{k}{C R_ж l^2},$$

где k — коэффициент пропорциональности.

Из выражения для w вытекает, что скорость телеграфирования по кабелю уменьшается обратно пропорционально квадрату его длины. Это так называемый "закон квадратов" Томсона, который не был учтен при переходе от сравнительно коротких морских линий к длинной трансатлантической. Формула показывает, что для убыстрения передачи надо уменьшить произведение CR за счет любого из сомножителей, и позволяет решать задачу количественно. Зная длину линии l и задав скорость передачи, можно рассчитать требуемые электрические параметры кабеля R и C и по ним определить его конструктивные размеры (d_0 и D).

Конечно, сказанное не первый пример применения научного открытия для практических инженерных целей, но, пожалуй, первый в сфере конструирования кабеля и, следовательно, его производства. Вклад Томсона в развитие электротелеграфии по подводным кабелям не ограничился теорией. Чтобы избежать чрезмерного повышения напряжения питающей батареи, он в качестве чувствительного приемника предложил приспособить изобретенный им зеркальный гальванометр, улавливающий ток в 30—40 мкА. Впоследствии, в 1867 г., Томсон изобрел более удобный записывающий чувствительный приемник, ко-

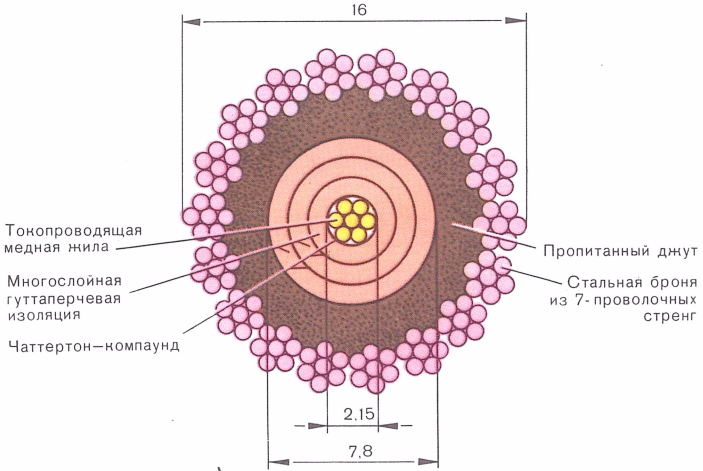
торый называл сифон-рекордером (recorder — в переводе с английского означает "пишущий", "регистрирующий"). Существенную деталь прибора составляла капиллярная стеклянная трубочка диаметром 0,03 мм — сифон, один конец которого был погружен в сосуд с чернилами, а другой чертил на ленте непрерывную линию.

С полным правом Томсон может быть назван основоположником теории конструирования телеграфных кабелей — этих первых кабелей связи — для длинных линий. Он же вывел дифференциальные уравнения, определяющие значения напряжения и тока в любой точке линии в зависимости от параметров кабеля R и C. Распространенные впоследствии и на длинные линии переменного тока (линии электропередачи или электросвязи), так называемые линии с распределенными постоянными, хорошо известные всем тем, кто хоть немного знаком с теоретической электротехникой, эти уравнения так и называются — "телеграфными". Приятно, что зарождение их идет от кабеля связи.

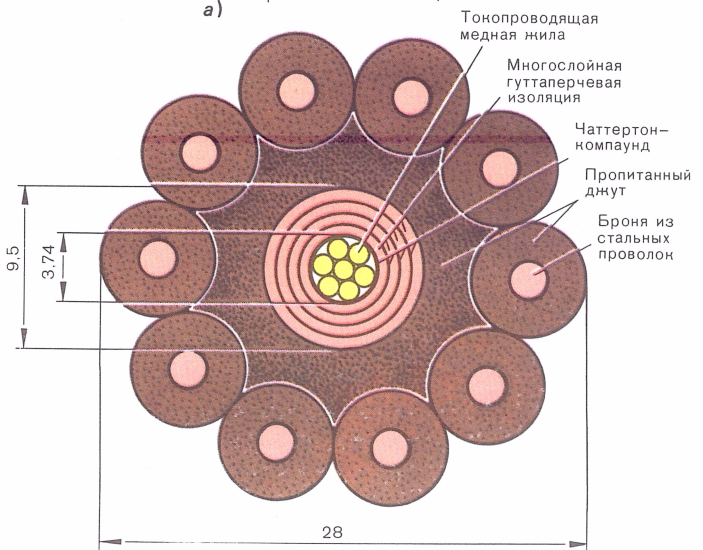
Томсон первым предложил скручивать токопроводящую жилу из проволок для увеличения ее гибкости. Он способствовал усовершенствованию технологии кабельного производства, ужесточению контроля материалов, настоял на применении проволок из меди высокой электропроводности.

То, что высший дворянский титул лорда Томсон получил "по совокупности" — как сказали бы теперь — "научных заслуг", широко известно. Но малоизвестен тот факт, что дворянское звание было впервые пожаловано ему в 1866 г. главным образом за заслуги в сооружении трансатлантического телеграфа.

Трансатлантические телеграфные кабели конструкций 1857—1858 гг. (*а*) и 1865—1866 гг. (*б*) →


16
Токопроводящая медная жила
Многослойная гуттаперчевая изоляция
Чаттертон—компаунд
Пропитанный джут
Стальная броня из 7-проволочных стренг
2,15
7,8

а)


Токопроводящая медная жила
Многослойная гуттаперчевая изоляция
Чаттертон—компаунд
Пропитанный джут
Броня из стальных проволок
9,5
3,74
28

б)

Кстати, по одной из версий выбор слова "Кельвин" в титуле лорда, которым был удостоен Томсон, также имеет непосредственное отношение к кабелям связи. Таково было название небольшого ирландского городка неподалеку от бухты Валенсия, откуда отправлялись экспедиции по прокладке первого трансатлантического телеграфного кабеля.

Однако вернемся к главному "действующему лицу" трансатлантической эпопеи прошлого века — к подводному кабелю. По конструкции и свойствам новый кабель заметно отличался от своего предшественника. Сечение кабеля конструкции 1860-х годов, представление о которой дают уже упомянутые таблица и рисунок, было увеличено втрое. Следовательно, втрое уменьшилось сопротивление жилы. Несмотря на некоторое увеличение емкости, постоянная времени кабеля $C_к R_к$ уменьшилась в 2,5 раза. Соответственно увеличились скорости распространения тока и телеграфной передачи.

Таблица 5

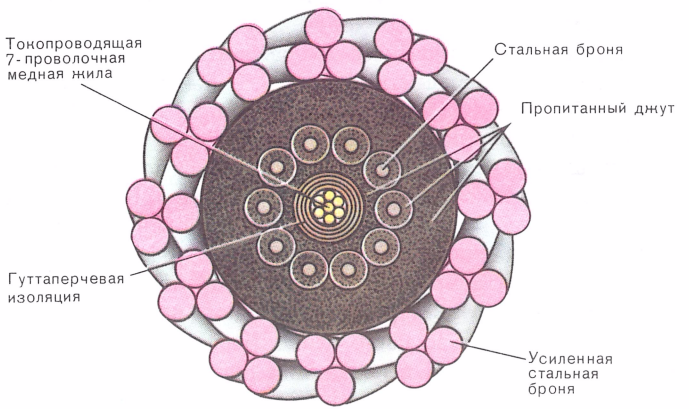
Параметры трансатлантических линий

Год прокладки линии	Длина линии, км	Время прохождения сигнала по линии, с	Скорость распространения тока по кабелю, км/с
1858	3800	0,4	9500
1865 и 1866	3500	0,15	23500

Изоляция жилы была выполнена не из трех, а из четырех тонких слоев гуттаперчи, причем сама токопроводящая жила и каждый слой гуттаперчи покрывались влагозащитным клейким компаундом, так называемым "чаттертон-компаундом", состоящим из трех частей гуттапер-

чи, одной части смолы и одной части гудрона. Изолированную жилу обматывали слоем просмоленного джута и покрывали броней, на сей раз из одиночных стальных проволок. Новым явилось то, что каждая бронепроволока, в свою очередь, была покрыта слоем пропитанного джута толщиной около 3 мм. Делалось это главным образом для того, чтобы уменьшить вес кабеля при погружении в воду (плотность джута меньше плотности воды). Хотя новый кабель весил в воздухе вдвое больше прежнего, в воде он лишь на 30% превышал вес кабеля предшественника. Благодаря усилению конструкции в целом разрывная прочность кабелей 1865 и 1866 гг. по сравнению с кабелями 1857 и 1858 гг. возросла в 2,4 раза.

Береговые концы линии имели усиленную — двойную броню для защиты от повреждений при трении о камни во время приливов и отливов и при случайных ударах корабельных якорей. Для этого поверх глубоководного бронированного кабеля накладывались подушка из про-



Сечение берегового трансатлантического кабеля конструкции 1865—1866 гг.

питанного джута и дополнительная более мощная броня, состоявшая из 12 стальных стренг, каждая из которых была скручена из трех проволок.

ТРИУМФ

Итак, четвертой трансатлантической кабельной экспедиции предшествовала солидная научно-практическая подготовка. К тому же ее организаторам крупно повезло: они буквально за бесценок купили с аукциона самый большой в то время и один из самых красивых кораблей мира "Грейт Истерн". Заслуги этого судна в битве кабелей с Атлантикой настолько весомы, что нельзя не рассказать о нем особо. Спроектировал его крупнейший инженер викторианской эпохи Изамбар Брюнель. Строитель ряда мостов и портов в Англии, участник сооружения первой телеграфной железнодорожной линии И. Брюнель (1806—1859) был также творцом нескольких уникальных для своего времени пароходов, предназначавшихся для регулярных трансатлантических рейсов: "Грейт Вестерн", или "Великий Запад" (1838 г.) "Грейт Бритн", или "Великобритания" (1845 г.), и, наконец, гигант "Грейт Истерн", или "Великий Восток" (1858 г.).

Этот шедевр кораблестроения по своим возможностям опережал потребности времени. Мы уже говорили о различных судьбах не только творцов, но и творений техники. Поначалу судьба парохода складывалась трагически. При спуске на воду, длившемся 82 дня, не обошлось без серьезных увечий рабочих и даже смертельного случая. Когда "Левиафан" — таково было первоначальное название судна — перебазировался в первый же порт на Темзе, компания, для которой его строили, обанкротилась. Новые владельцы переименовали корабль, но рок судьбы преследовал его и под новым именем. После пробного плавания в 1859 г. на рейде в Гастингсе лопнула одна из

труб, смертельно обварив нескольких матросов. Его первый капитан вскоре утонул.

Предубеждения против этого удивительного судна были настолько сильны, что, когда оно отплыло в Нью-Йорк, только 46 пассажиров осмелились пуститься на нем в путь. И это на комфортабельном пароходе, готовом принять на борт 4000 человек. "Это судно — верх совершенства, — писал Жюль Верн, — это не просто корабль, это целый город". Весь переезд был совершен с изумительной скоростью — за десять с половиной суток. Несмотря на подобный успех, пароход на обратном пути был по-прежнему пуст. По возвращении в Ливерпуль он был опечатан судебным приставом и назначен для продажи с аукциона на слом.

Возможности "Грейт Истерна" были поистине колоссальны. При 210-метровой длине он имел ширину 25 м. Его водоизмещение составляло 32000 т, а грузоподъемность 20000 т. Гребной винт с размахом лопастей более 7 м приводился в движение машиной в 1600 лошадиных сил (л. с.), а гребные колеса диаметром 7,5 м — машинами по 500 л. с. Такие движители позволяли судну развивать скорость до 12—15 узлов (22—28 км/ч). Кроме того, корабль был оснащен парусами, общая площадь которых на всех шести мачтах достигала 5400 $м^2$. Команда его насчитывала 400 человек. Лишь через сорок восемь лет, в 1906 г., был спущен на воду пароход "Лузитания", сравнимый по масштабам с "Грейт Истерном" — этим чудом XIX века.

Поворот в судьбе "Грейт Истерна", принесший ему всемирную славу, начался в июне 1865 г., когда он отплыл из залива Медуэй в юго-восточной Англии, южнее устья Темзы, имея на борту 7000 км кабеля, размещенного в трюмах, специально переоборудованных в три больших тенкса, 8000 т угля, воды и провианта для 500 человек.

Четвертая прокладка трансатлантического кабеля началась 23 июля 1865 г. из Ирландии. Сначала проложили 55-километровый мелководный конец, который срастили на борту "Грейт Истерна" с главным кабелем. День за днем уверенно бороздил мощный "Грейт Истерн" океан, рассекая носом волны, кабель равномерно опускался на дно, но по какой-то роковой традиции без неприятностей и на этот раз не обошлось.

Сначала на второй, а затем на седьмой день плавания приборы сигнализировали о повреждении изоляции. Пришлось поднимать несколько километров кабеля из воды снова на борт. Оба раза оказывалось, что изоляция была проткнута насквозь куском стальной проволоки. Предположили присутствие на судне злоумышленника, начались взаимные подозрения, тревога охватила всех. Еще через несколько дней "злоумышленник" нашелся. Им был... сам кабель, вернее, его броня. Твердая сталь, из которой были изготовлены проволоки брони, оказалась очень хрупкой и под действием тяжести уложенных один на другой многочисленных витков кабеля в тенксе ломалась на куски. Такие куски и пропарывали изоляцию. "То, что мы раньше принимали за "убийство", — писал сопровождающий экспедицию журналист У. Рассел, — на самом деле оказалось "самоубийством". Основное внимание было уделено электрическим свойствам кабеля, и никому в голову не пришло испытать его механические качества. Несчастье случилось утром 2 августа, когда было пройдено уже две трети пути. При ликвидации третьего повреждения изоляции куском стальной проволоки кабель оборвался и ушел на дно. Девять дней после этого пытался "Грейт Истерн" поднять затонувший кабель, кружась вокруг места, зафиксированного буем. Для подъема служил, да и по сей день служит крюк с пятью лапами, называемый грапнелью и похожий на самодельный проволочный крюк-кошку, которым достают из колодца упавшее

ведро. Грапнель, закрепленная на конце стального троса, волочится по дну океана, пока не зацепит кабель. Три или четыре раза удавалось захватить кабель и поднять его конец почти на половину глубины океана. Но каждый раз недостаточно прочный стальной трос обрывался. Экспедиция 1865 г. закончилась неудачей, но не потерей веры в конечный успех.

Был изготовлен новый кабель; на этот раз он имел броню не из твердых, а из мягких стальных оцинкованных проволок. Запасли 35 км специального стального троса, который выдерживал массу до 30 т. Усовершенствовали приборы и механизмы на "Грейт Истерне", очистили его корпус от полуметрового слоя ракушек, что должно было способствовать увеличению скорости по крайней мере на пару узлов.

Пятая экспедиция началась через год — 13 июля 1866 г. Она оказалась наиболее успешной, хотя и наименее романтичной. Прокладка кабеля шла без приключений со скоростью шесть узлов. После прохождения через шкив каждой мили кабеля раздавался звон колокольчика. Он звонил почти регулярно каждые десять минут. Настроение было отличное. Ежедневно типографским способом издавалась газета "Грейт Истерн Телеграф", в которой помимо судовых новостей печатались известия из Европы, получаемые по прокладываемому кабелю. Ровно через две недели 27 июля "Грейт Истерн" подошел к Ньюфаундленду и бросил якорь в бухте Хартс-Контент, что в переводе означает "Душевное удовлетворение". Этим днем и датируется начало регулярной постоянной электрической связи между Европой и Америкой.

Окрыленный победой "Грейт Истерн" в сопровождении вспомогательных судов "Медуэй", "Олбани" и "Террибл" ("Грозный") 9 августа вышел в море, чтобы поднять конец кабеля, затонувшего в предшествовавшем году. Поиски и безуспешные попытки подъема кабеля длились

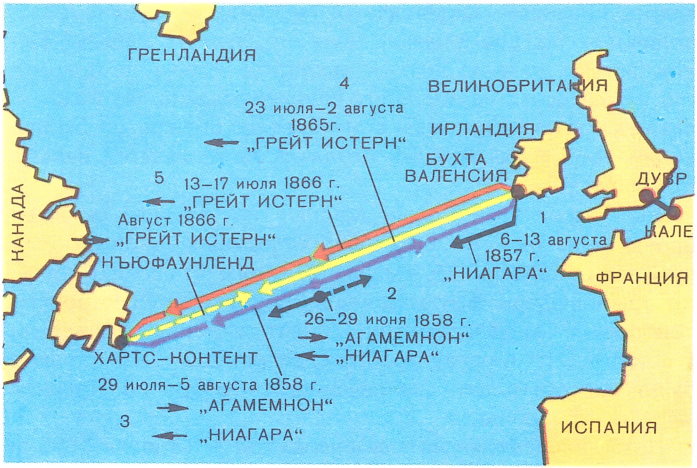


Схема пяти экспедиций 1857—1866 гг. по прокладке первого трансатлантического телеграфного кабеля

три недели, больше, чем экспедиция по прокладке нового кабеля. Не станем описывать перипетии дополнительного, "внепланового" сражения с океаном. Наконец, кабель был поднят и испытан. Несмотря на годичное пребывание в пучине океана, он оказался полностью пригодным. Срастили поднятый конец с запасным кабелем на судне, и "Грейт Истерн" снова пошел по направлению к Ньюфаундленду, прокладывая оставшиеся 1200 км линии; 8 сентября 1866 г. второй кабель соединил оба материка. "Вчерашнее чудо стало нынешней действительностью. . . человечество стало божественно вездесущим, благодаря своим собственным творческим силам", — писал в XX веке Стефан Цвейг в исторической миниатюре "Первое слово из-за океана" цикла "Звездные часы человечества". Момент установления электрической связи через Атлантику он оценил как поворотный момент в ходе истории.

Подобно вечным звездам, считал Цвейг, такие мгновения неизменно сияют в "ночи забвения".

К сожалению, и сегодня в наш атомно-космический век актуально звучит последняя фраза новеллы Цвейга: "Победа над временем и пространством навеки объединила людей, и будущее их было бы прекрасно, если бы не роковое ослепление, все вновь и вновь заставляющее их разрушать это грандиозное единство и применять те же средства, которыми они утвердили свою власть над природой, для уничтожения самих себя".

В отличие от писательской образности, высказывания ученых были суше, но конкретнее. Великие электрики М. Фарадей и Дж. К. Максвелл по достоинству оценили вклад кабельной техники и техники электросвязи в развитие науки. Фарадей выразил признательность ученым и инженерам "трансатлантического предприятия" за обнаруженные ими явления, убедительно "иллюстрирующие некоторые основные принципы электричества". Максвелл высказался в 1873 г. еще определеннее: ". . . важные приложения учения об электромагнетизме к телеграфии оказали воздействие на чистую науку. . ." И далее: "Этот спрос на познания в области электричества. . ., с одной стороны, побуждал к энергичной деятельности ученых электриков, а с другой стороны, способствовал распространению точного знания среди практиков в такой степени, что это может повести к общему научному прогрессу инженерного дела в целом".

Мир не всегда был единодушен в своем восприятии прогресса. Вот как реагировала шанхайская газета "Небесная империя" на развитие линий телеграфной связи: "Припомним недавнее прошлое, когда шанхайские жители с нетерпением ожидали пушечного выстрела, возвещающего прибытие почтового парохода с кучей журналов и газет, которые давали обильный материал для удовлетворения любопытства читателей и жажды новостей. Вся

прелесть ожидания и интерес газетных сообщений исчезли с проведением телеграфа. . . Итак, сознаемся откровенно, что жизнь была бы несравненно приятнее без изобретения телеграфа".

Пожалуй, не стоило выдающемуся американскому поэту и новеллисту, мастеру жанра "страшного рассказа" Эдгару Аллану По браться за научную фантастику. В 1848 г., за год до своей скоропостижной и загадочной кончины, он попытался представить, как будет выглядеть мир через тысячу лет, сочинив "Письма с воздушного шара": "Воздушный шар "Жаворонок" 1 апреля 2848 г. . . . Сегодня переговаривались со станцией плавучего телеграфа. Говорят. . . никто не верил возможности проложить проволоку по морю. А теперь. . . Что бы мы стали делать без Атлантического телеграфа!" Не сто и даже не двести, а целую тысячу лет "отвел" По на прокладку трансатлантического телеграфного кабеля. Он ошибся на 982 года или в 55 раз: "проволоку по морю" проложили не через 1000, а через 18 лет.

Успех 1866 г. способствовал небывалому развитию техники подводных кабелей. Вслед за первыми двумя в 1869 г. был проложен третий трансатлантический кабель из Бреста (Франция) в Ньюфаундленд. Затем в течение пяти лет Атлантику пересекли еще три кабеля. Последний из них (1874 г.) знаменателен тем, что был проложен напрямую между Ирландией и США (полуостров Новая Шотландия) без промежуточной станции на Ньюфаундленде. Его длина составила 5700 км. Кабели прокладывали в Тихом и Индийском океанах, Средиземном море, Южной Атлантике.

Создание подводных кабелей, обусловленное изобретением электрического телеграфа, в свою очередь, способствовало его дальнейшему прогрессу. Возможность преодолевать любые водные пространства стимулировала строительство как внутринациональных (воздушных)

Линия индоевропейского телеграфа

линий, так и межнациональных смешанных наземно-подводных линий большой протяженности. К их числу относится, например, линия индо-европейского телеграфа Лондон—Калькутта длиной свыше 18000 км, сооруженная в 1867—1870 гг.

Недаром Карл Маркс счел нужным отметить, что "весь земной шар опутан телеграфной проволокой"*. К концу XIX века число трансатлантических линий (за вычетом самого первого недолговечного кабеля 1858 г.) достигло 15 (!). А всего в морях и океанах успели проложить 1750 кабельных телеграфных линий общей протяженностью 300000 км.

По ним передавалось ежедневно 16,5 тысяч телеграмм. Долгое время они назывались каблограммами. Общая длина проводов воздушных линий и жил кабельных линий во всем мире составила 6000000 километров. По ним ежедневно передавалось не менее 1000000 депеш. Из отечественных подводных кабельных линий конца прошлого

*К. Маркс. Капитал, т. III, гл. IV, с. 76.

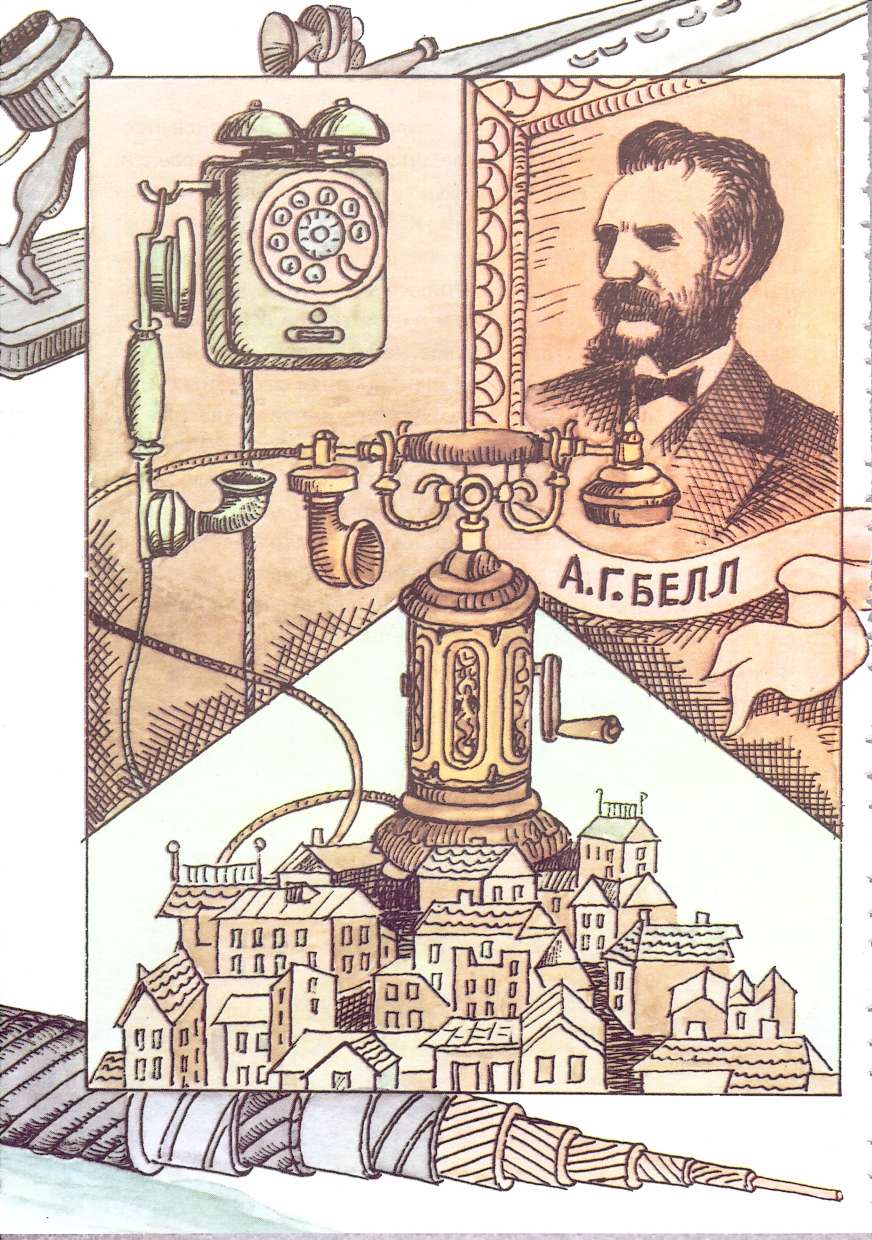
столетия наиболее значительны каспийская, проложенная в 1879 г. между Красноводском и Баку, сахалинская 1881 г. между заливом Де-Кастри и Дуэ (о. Сахалин), а также черноморские: Одесса—Константинополь и Севастополь—Варна.

В 1880-е годы конструкция подводных кабелей была значительно усовершенствована. Токопроводящая жила скручивалась не из семи одинаковых проволок, а состояла из центральной медной проволоки диаметром 3 — 3,1 мм и повива из 12 медных проволок диаметром 1,05 мм. Диаметр такой компактной жилы возрос всего на 35—40%, а ее сечение увеличилось вдвое (с 8,5 до 17,5 — 18 мм^2). Сопротивление жилы постоянному току составило всего 1 Ом, следовательно, еще более возросли скорости распространения тока (до 35000 км/с) и телеграфной передачи. Усилена была броня кабеля, ее теперь составляли не 12, а 18 (и даже 24) проволок диаметром 2,1 — 2,4 мм, имеющих предел прочности при растяжении 1000—1400 МПа (мегапаскалей). Так как каждая проволока брони не обматывалась джутом, то наружный диаметр кабеля уменьшился до 17—18 мм вместо прежних 28 мм. Вследствие этого увеличился его вес в воде, но это не внушало опасений, так как разрывная прочность кабеля выросла до 100 — 110 кН.

К 1890 г. установились градации и условные обозначения типов брони подводных кабелей, принятые в основном и в настоящее время. Так, береговые концы кабеля имели наиболее мощную двойную броню из проволок диаметром 4—5 и 7—8 мм (тип АВ), а для тяжелых условий эксплуатации, например при скалистом береге, — из проволок диаметром 7,5 и 9,5 мм (типС). Прибрежные кабели защищались одинарной броней (тип А) из проволок диаметром 7 — 8 мм. Так называемые переходные кабели, прокладываемые на средних глубинах (100—1000 м), бронировались проволоками диаметром 4—5 мм (тип В) или

6—7 (тип E). Наиболее легкая броня глубоководных кабелей обозначалась буквой D или H.

В первой трети текущего столетия продолжались прокладка подводных да и подземных телеграфных кабелей. В 1902 г. первый кабель пересек с севера на юг Тихий океан — от Канады до Австралии. К 1930 г. было проложено почти 650000 км подводных телеграфных кабелей, сыгравших определенную роль не только в области экономических и культурных связей, но и в политике и военном деле. Именно подводные телеграфные кабели первыми соединили до того разобщенные сети электросвязи отдельных континентов в единую мировую систему связи. Телеграмму вокруг земного шара можно было передать за 40 минут. Однако постепенно, по мере развития линий телефонной связи, по которым кроме телефонных можно было передавать также телеграфные сообщения, чисто телеграфные кабели начали терять самостоятельное значение. В настоящее время они используются для целей железнодорожной сигнализации и блокировки. С железных дорог начинали, к ним и пришли. Круг замкнулся.


А.Г.БЕЛЛ

Глава 5 ЗАТЕМ – ТЕЛЕФОННЫЕ

ИЗОБРЕТАТЕЛЬ ТЕЛЕФОНА А. Г. БЕЛЛ, ИЛИ СЕНСАЦИОННЫЕ ДВА ЧАСА

Своим появлением и развитием современные кабели связи обязаны изобретению телефона. Сам термин "телефон" много старше способа электрической передачи на расстояние человеческой речи. Термином "телефон" пользовались в различных проектах акустической связи, например по трубам. Историки электросвязи единодушны в том, что идею телефонирования посредством электричества первым разработал в 1849 — 1854 гг. инженер-механик вице-инспектор парижского телеграфа Шарль Бурсель. Однако до практической реализации свою идею он не довел.

Наиболее близок к этому был немецкий учитель физики из Франкфурта-на-Майне Филипп Рейс (1834—1874), занимавшийся исследованиями органов слуха в 1853—1860 гг. Устройство, названное им телефоном, Рейс демонстрировал 26 октября 1861 г. во Франкфуртском физическом обществе. Передатчик представлял собой ящик с большим круглым отверстием в верхней крышке, обтянутым тонкой перепонкой, к внутренней поверхности которой была прикреплена платиновая пластинка. Под центром перепонки на небольшом расстоянии от нее укреплялся платиновый контакт. При воздействии звука на перепонку последняя колебалась, пластина то каса-

лась контакта, то отходила от него. Электрическая цепь замыкалась и размыкалась с частотой воздействующего звука. Приемником служила проволочная катушка — соленоид с сердечником в виде тонкой спицы, закрепленной с обоих концов. Под воздействием пульсирующего магнитного поля спица колебалась и издавала звук, который усиливался полым ящиком — резонатором, служившим опорой для соленоида.

Умеренно громко спетая мелодия была отчетливо передана на расстояние 100 м. Прибор воспроизводил звуки фортепьяно и духовых инструментов. Удавалось услышать, впрочем, весьма неясно, отдельные невнятные звуки человеческой речи. Но не более. Поэтому аппарат Рейса был воспринят современниками как очень любопытная, но бесплодная техническая игрушка. Дело в том, что аппарат, передававший прерывистые импульсы тока, мог воспроизводить высоту и до некоторой степени силу звука, но не его оттенки, характерные для человеческого голоса и определяемые формой звуковых колебаний. Лишь два года спустя исследования немецкого естествоиспытателя Германа Гельмгольца (1821—1894) восполнили пробелы знаний о физиологии звука. Хотя практического применения изобретение Рейса не нашло, его имя с полным основанием вошло в историю телефонии. Более того, в Германии долгие годы именно Рейсу отдавали приоритет в создании телефона. Так, в немецкой популярной книжке о телефонии, изданной в 1911 г., подпись под портретом Ф. Рейса гласит: "Изобретатель телефона". И в настоящее время в ГДР и особенно в ФРГ чтут заслуги Иоганна Филиппа Рейса как первопроходца в телефонии.

Первый практически пригодный для передачи человеческой речи телефон изобрел пятнадцатью годами позже Александер Грейам Белл (1847—1922). Шотландец по происхождению, он с юношеских лет пошел по стопам де-

да, основателя школы ораторского искусства в Лондоне, и отца, профессора риторики Лондонского университета. С семнадцати до двадцати семи лет Белл проводил углубленные исследования в области акустики, а также физики человеческой речи. В 1870 г. семья Беллов переехала в Канаду, а с апреля 1871 г. А. Г. Белл — житель Бостона. Начал он с преподавания "видимой речи" в школе глухонемых, но в октябре 1872 г. открыл собственную школу вокальной физиологии, где занимался с глухонемыми, с лицами, страдающими заиканием и другими дефектами речи, а также подготавливал учителей для школ глухонемых. С 1873 г. он профессор вокальной физиологии в школе ораторского искусства Бостонского университета, где в течение ряда лет занимался электроакустикой.

Любопытно, что Белл пытался изобрести не телефон, а "гармонический телеграф". Чтобы понять смысл этого названия, вернемся к продолжающей бурно развиваться телеграфии, испытывающей дефицит линий. Потребности в проводах воздушных линий связи значительно опережали возможности сооружения последних. Практиковавшаяся подвеска на столбах по несколько проводов не являлась радикальным выходом из положения. Поэтому предпринимались попытки более эффективно использовать каждый линейный провод, передавать по нему одновременно две и более депеш.

Еще в 1837 г. американский физик Чарльз Графтон Пейдж (1812—1868) обнаружил явление "гальванической музыки": в электрической цепи, состоящей из камертона, электромагнита и гальванического элемента, при колебаниях камертона, размыкавших и замыкавших цепь, электромагнит издавал поющий звук. В 1869 г. профессор физики Харьковского университета Георгий Иванович Морозов (1836—1904) предложил для одновременной передачи по одному проводу нескольких депеш метод разночастотного телеграфирования.

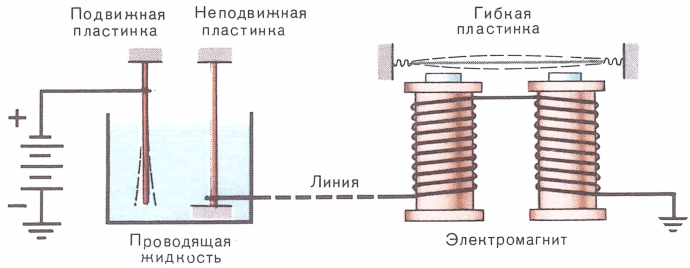


Схема Г. И. Морозова для одновременной передачи по одной цепи нескольких телеграмм на разных частотах

По его идее передатчиком должна была служить гибкая металлическая пластинка, жестко закрепленная на одном конце и частично опущенная в стеклянный сосуд с проводящей жидкостью. К пластинке подводился ток от батареи. При сообщении пластинке колебаний с частотой f_1 изменялось бы сопротивление участка жидкости между ней и неподвижным электродом, также находящимся в сосуде. Сила протекающего по однопроводной цепи постоянного тока изменялась бы с такой же частотой. Приемник мог состоять из двух цилиндрических электромагнитов, над которыми располагался якорь в виде железной пластинки, настроенной в резонанс с пластинкой передатчика. Если по проводу посылать одновременно сигналы от нескольких передатчиков $П_1$, $П_2$, $П_3$, задавая пластинкам колебания различных частот, например f_1, f_2, f_3, то каждый из приемников $Пр_1$, $Пр_2$, $Пр_3$ среагирует на сигналы только своего передатчика. Так по одной линии, не мешая один другому, передавались бы сигналы различных частот. Продолжительность сигналов должна была соответствовать коду Морзе. Реализовать свой замысел Морозов не смог, но его идеей заинтересовались другие исследователи.

Линии сначала телеграфной, а затем телефонной связи возникли и развивались вследствие появления средств связи: телеграфа и соответственно телефона. Но вот пример "обратной связи": необходимость экономичного технически рационального использования линий обусловливает усовершенствование самих способов передачи. Не случайно компания "Вестерн Юнион" обещала огромное вознаграждение изобретателю, который бы решил поставленную задачу.

Белл ломал голову над этой проблемой с 1873 г. В числе других экспериментировавших с гармоническим телеграфом был и американский изобретатель — электротехник Элиша Грей (1835—1901).

Белл в качестве передающего и приемного устройств использовал наборы металлических вибрирующих пластинок — камертонов, настроенных каждый на одну музыкальную ноту.

Контакты на концах пластинок при вибрации последних соединялись или разъединялись с контактами электрической цепи, и пропущенный через передающее устройство электрический ток должен был прерываться. Предполагалось посылать по проводу одновременно несколько "электронот" (до семи согласно нотной азбуке), то есть электрический ток с частотами, соответствующими частотам выбранных нот. На приемном конце каждый камертон вибрировал бы только при сигнале определенной "своей" частоты, а остальные сигналы игнорировал бы. Насколько известно, гармонический телеграф так и не удалось создать. Зато во время одного из многочисленных опытов, проводившихся Беллом со своим помощником Томасом Ватсоном 2 июня 1875 г., свободный конец одной из пластинок на передающем конце случайно застрял (еще одна случайность в нашу копилку) и, когда Ватсон безуспешно (так как контакты приварились) попытался его освободить, Белл услышал на приемном

конце слабые звуки, подобные тем, которые издает натянутая струна.

Застрявшая пластинка сработала как диафрагма. В прежних опытах свободный конец пластинки просто размыкал и замыкал электрическую цепь. Теперь вместо этого легкие колебания пластинки индуцировали соответствующие электромагнитные колебания в расположенном под ней передающем электромагните. Пульсирующий электрический ток протекал по цепи к обмотке приемного электромагнита и заставлял тем самым колебаться его пластинку. В этом оказалась принципиальная разница между будущим телефоном и всеми телеграфными устройствами. Телеграф передавал строго ограниченные импульсы электрического тока, обладающие одной и той же амплитудой, хотя и различной продолжительностью. Для телефона необходим был непрерывный электрический ток, сила и частота которого изменялись бы в точном соответствии с колебаниями звуковых волн в воздухе.

В первое время Беллу удавалось передавать по проводам, соединяющим передающее и приемное устройства, только отдельные звуки, но не членораздельную речь. Понадобились еще девять месяцев и одна неделя, чтобы заставить телефон заговорить.

День 14 февраля 1876 г. — года столетия независимости США — преподнес подарок не только создателям электросвязи, но и журналистам. Он остается сенсационной, неоценимой и не тускнеющей находкой для авторов популярных книг. В этот день А. Белл подал заявку в Вашингтонское патентное бюро на свое изобретение: "Телеграф, при помощи которого можно передавать человеческую речь". Двумя часами позже заявку на "Устройство для передачи и приема вокальных звуков телеграфным способом" подал Э. Грей из Чикаго.

Эффектная версия о счастливой случайности, принесшей всемирную славу Беллу и оставившей в тени другого изобретателя телефона Грея, не сходит со страниц

статей и книг, не только популярных, но и монографических. Вот пример типичного названия глав об изобретении телефона: "Все решили два часа" (впрочем, разница в часах варьируется авторами от одного до трех).

Но придавать решающее значение только двум часам, значит недооценивать главное. А главное заключается в том, что Белл всю свою сознательную жизнь по существу шел к изобретению телефона. В отличие от своих предшественников, он много внимания уделил изучению физики человеческой речи и особенно строения человеческого уха, для чего, в частности, проработал год в Массачусетском отоларингологическом госпитале, присутствовал при многих операциях.

Буквально на следующий день после неожиданного открытия Белл с Ватсоном собрали первый электрический телефон. Все лето они экспериментировали, а в сентябре Белл начал составлять описание устройства для изобретательской заявки. Он составлял это описание пять месяцев, без конца дополняя и уточняя формулировки и переделывая чертежи по мере совершенствования своего аппарата. В основном пункте патентного описания предлагались "способ и устройство для телеграфной передачи голосовых или других звуков посредством волнообразных электрических колебаний, подобных по форме колебаниям воздуха, сопровождающим голосовые или другие звуки" (вот он тот "ключ" к телефонированию, которого недоставало аппарату Рейса). Белл получил патент США № 174465 на изобретение телефона 7 марта 1876 г., а ровно через три дня, 10 марта, им была передана по 12-метровому проводу, соединявшему его квартиру с лабораторией, расположенной на чердаке того же дома, первая ставшая исторической членораздельная фраза, адресованная Ватсону: "Идите сюда, мистер Ватсон, вы мне нужны". На что Ватсон ответил: "Мистер Белл, я отчетливо слышу каждое произнесенное вами слово".

Последний удар по версии о фантастическом везении Белла нанес известный американский писатель, в прошлом физик и помощник Энрико Ферми, Митчел Уилсон, автор широко известных в нашей стране романов "Жизнь во мгле" ("Живи с молнией"), "Брат мой — враг мой", "Встреча на далеком меридиане". В своей "Иллюстрированной истории американской науки и изобретательства" он убедительно показал, что нет оснований считать, будто Белл и Грей создали телефон одновременно. Действительно, через час, два или три после регистрации заявки Белла в то же Вашингтонское патентное бюро обратился с ходатайством Грей. Но если заявка Белла была сделана на практически почти готовое изобретение, то от Грея поступило только предварительное уведомление о намерении изобрести телефон и о принципах, на которых основывается его идея.

Грей, будучи американским гражданином, имел, оказывается, юридическое право на подобное официальное уведомление, тогда как Белл, в то время подданный Великобритании (американское гражданство он принял много позже, в 1885 г.), такого права не имел. Более того, Белл, нуждавшийся в деньгах для своих опытов, уступил канадцу Дж. Брауну монополию на использование телефона в Англии всего за 25 долларов в месяц в течение шести месяцев. Согласно договору Белл не должен был брать патента в Америке до тех пор, пока Браун не получит английского патента. Вот как в действительности обстояло дело с "всего лишь двумя часами".

И еще одна деталь, неточное толкование которой, впрочем, допускает сам М. Уилсон. Предварительное уведомление Грея имело официальное название "протест". М. Уилсон пишет, что тем самым "Грей опротестовал заявку Белла". Не совсем так. Во-первых, Грей, живший с Беллом в разных городах и не знакомый с ним, вряд ли мог знать о намерении последнего подать заявку, тем более о дне

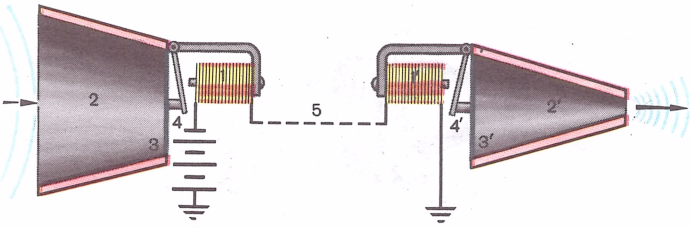
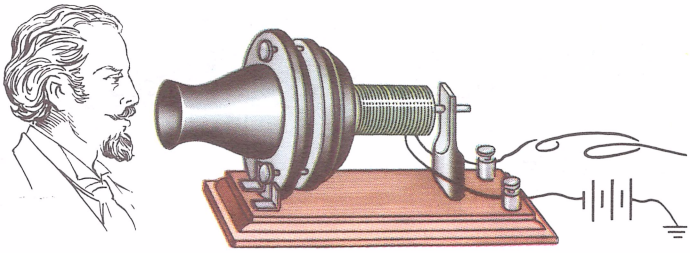


Схема телефона Белла такая, какой она была изображена в патенте от 7.03.1876 г.

и часе ее подачи. Во-вторых, если он случайно и узнал о поданной заявке, то практически невероятно, чтобы он успел за два часа составить свое заявление-протест и доставить его из Чикаго в Вашингтон. "Протест" Грея — документ, носивший общий характер. Это было упреждающее ходатайство о невыдаче патента на аналогичное устройство всем другим лицам в течение года. Таким образом, Грей заблаговременно позаботился о своем возможном приоритете на будущую изобретательскую заявку. Кстати, сам Грей по свидетельству М. Уилсона в первое время не утверждал, что изобрел телефон раньше Белла.

В телефоне Белла для передачи и для приема использовали одинаковые конструкции — так называемые трубки Белла, — основными деталями которых служили электромагнит *1* и рупор *2* с кожаной мембраной *3* и жесткой тягой *4*, прикрепленной к ней. Вначале Белл обходился даже без батареи, но естественно, что при этом передача весьма слабых токов, индуцированных в электромагните передатчика, могла осуществляться на расстояние не более нескольких сот метров.

Когда человек говорил в рупор *2*, его мембрана *3* колебалась под действием изменяющегося звукового давления и через прикрепленную к ее центру тягу *4* приводила в движение сердечник электромагнита *1*, по обмотке

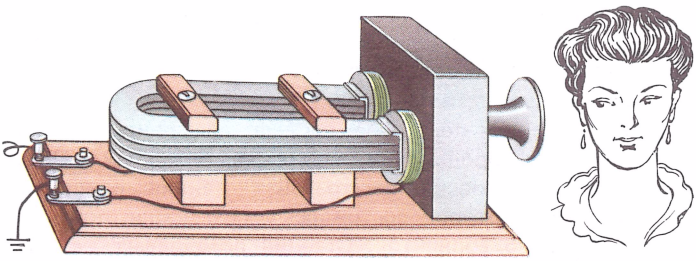


Модели передатчика и приемника в

которого протекал ток от батареи. Изменение положения сердечника относительно обмотки электромагнита вызывало изменение магнитного потока. В результате в общей однопроводной цепи *5*, соединяющей передатчик с приемником, постоянный ток преобразовывался в переменный звуковой частоты. Соответственно изменению переменного тока в цепи электромагнита *1'* с разной силой и частотой притягивалась к его сердечнику тяга *4'*, которая заставляла колебаться мембрану *3'*. Рупор *2'* воспроизводил те же звуки, что произносились в рупор *2*.

25 июня 1876 г. двадцатидевятилетний Белл впервые публично продемонстрировал свой телефон на первой Всемирной электротехнической выставке в Филадельфии. Среди членов жюри был и знаменитый Уильям Томсон (лорд Кельвин) — "душа" трансатлантического телеграфа. Восхищенный, он сказал: "Это самое удивительное изобретение, виденное мной в Америке! Это величайшее из чудес, связанное с электрической телеграфией!"

Первое сообщение о телефоне было опубликовано 6 октября 1877 г. в научно-популярном еженедельном издании "Scientific American". Первая в мире телефонная (воздушная) линия (ее длина и точная дата сооружения неизвестны) связала в 1877 г. квартиру и канцелярию мэра Бостона. Первая в Европе телефонная линия (также воздушная) длиной 2 км была сооружена 5 ноября 1877 г.



телефоне Белла конструкции 1877 г.

в Берлине между почтамтом и телеграфом. К концу года в США были уже установлены 9300 телефонных аппаратов, а 25 января 1878 г. фирма "Белл телефон компани" открыла в Нью-Хейвене (штат Коннектикут), расположенном между Бостоном и Нью-Йорком, первую в мире городскую телефонную станцию общего пользования, обслуживающую 21 абонента (через месяц, 21 февраля, число абонентов было увеличено до 50).

Телефон необычно быстро распространился по всему миру. В истории техники известны немногие устройства, так скоро, широко и надолго вошедшие в повседневную жизнь человеческого общества.

В Европе в 1877 г. были установлены первые 50 телефонов, а в 1878 г. — 1000. Первая телефонная станция в Париже была открыта в 1879 г., в Берлине — в 1881 г.

В России первые телефонные станции частного пользования были смонтированы на заводах Уфимской губернии в 1880 г. В том же году вошла в эксплуатацию первая в России телефонная воздушная линия военного ведомства длиной около 1 км.

В 1881 г. (8 июня) в Нижнем Новгороде (ныне город Горький) было открыто сообщение по телефонной линии протяженностью 1,5 км, которая соединяла Георгиевскую пристань с квартирами директоров — распорядителей пароходного общества "Дружина". Через полтора месяца

начала действовать линия частного пользования в Феллине (ныне город Вильянди Эстонской ССР) длиной 0,8 км. На 15 столбах высотой около 7,5 м был подвешен стальной провод диаметром 3 мм.

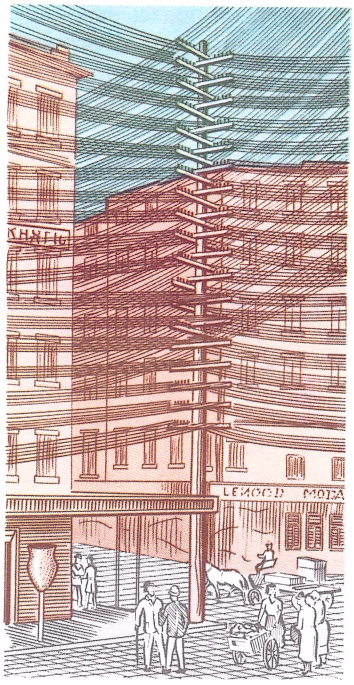
В 1882 г. были построены первые телефонные станции в крупнейших городах России: Москве, Петербурге, Одессе и Риге. Московская центральная станция, официальное открытие которой состоялось 1 (13) июля, поначалу обслуживала 26 абонентов. Станция помещалась на Кузнецком мосту. Абонентские однопроводные линии от коммутаторов через отверстия в потолке поднимались на крышу здания к главной металлической стойке, на которой было установлено много фарфоровых изоляторов. Отсюда в восьми радиальных направлениях расходились провода воздушных стоечных и столбовых линий. Сначала это были стальные провода диаметром 2,2 мм, а со второй половины 1880-х годов — бронзовые диаметром 1,4 и 1,25 мм.

Белл прекрасно сознавал значение перспективы своего изобретения. Уже в марте 1878 г. он так прогнозировал будущее развитие телефонии: "Можно представить себе, что кабели телефонных линий будут проложены под землей или подвешены в воздухе, их ответвления соединят жилые помещения, сельские дома, магазины, фабрики и т.д. с главным кабелем, идущим на центральную станцию, где все эти провода будут соединяться в нужных комбинациях, и, таким образом, установится непосредственная связь между двумя любыми точками в городе". И далее:". . . в будущем телефонные линии соединят центральные станции разных городов, и человек, находящийся в одной части страны, сможет общаться словесно с другим человеком, находящимся далеко от него".

Таким образом, уже при рождении телефона его изобретатель совершенно отчетливо представлял значение кабелей городской и междугородной сети.

Авторы, акцентирующие на пресловутых "двух часах", обычно ограничиваются сенсационным аспектом проблемы и ни словом не упоминают о сущности изобретения Грея. В его микрофоне к мембране должен был быть прикреплен маленький железный стержень, другим концом погруженный в сосуд с жидкостью малой электропроводности, являющейся частью цепи, питаемой от батареи.

Когда произносимый звук достигал мембраны, ее вибрации передавались стержню, сопротивление жидкостного участка цепи изменялось (не правда ли, похоже на схему Г. И. Морозова?) и по ней протекал пульсирующий ток. На приемном конце, так же как и в телефоне Белла, предусматривался электромагнит, стержень которого жестко соединялся с мембраной.



Воздушные телефонные линии в городе в начале 1880-х годов

Пожалуй, есть все основания считать, что Белл не только опередил Грея во времени, но и превзошел по техническому уровню своего изобретения.

Как и большинство телеграфных линий того времени, первые телефонные линии были воздушными. Попытки

применения подземных кабелей были вызваны стремлением заменить голые воздушные провода в густонаселенных городах с быстро растущей телефонной сетью, а также необходимостью устройства переходов воздушных линий через судоходные реки, прокладки пучка проводов по мостам и в железнодорожных тоннелях. Спустя несколько лет после практической организации телефонной службы улицы и крыши домов в больших городах часто представляли собой уродливое зрелище из-за скопища воздушных телефонных и телеграфных проводов. Столбовые линии, занимавшие обе стороны основных улиц, несли по 150—200, а порой и до 450—500 проводов и были весьма чувствительны к ветрам, дождям, снегопадам и прочим атмосферным воздействиям, вызывающим частые и порой серьезные повреждения их. Сооружение линий сильного тока сначала для целей электроосвещения (электрическая лампа была изобретена почти одновременно с телефоном), а затем для городского трамвая также явилось серьезной помехой (вследствие индуктивного влияния), а в ряде случаев даже решающим препятствием для нормальной телефонной связи, осуществляемой к тому же по однопроводной системе.

Первые телефонные семижильные кабели — теперь мы скажем: еще не кабели, а скрученные сердечники — длиной 1000—1200 м, также включенные по однопроводной системе, были проложены на Бруклинском мосту в Нью-Йорке в 1880 г. В конце 1882 г. в Бостоне два сердечника (число жил неизвестно) длиной 360 и 450 м были проложены от здания станции по направлению к абонентам в трехдюймовых стальных трубах, покрытых бетоном. Первый подземный кабель в России был проложен сто лет тому назад, в 1885 г., при строительстве Нижегородской городской телефонной сети. Кабель из 10 жил имел длину 1 км.

Первый морской телефонный кабель соединил Англию и Францию в 1891 г. К этому времени в мире насчитывалось полмиллиона телефонов.

НЕМНОГО ТЕОРИИ

Для чего служили и служат кабели связи? Для передачи на расстояние информаци, то есть любых сведений. Информация может быть представлена в форме различных сообщений: в виде текста телеграммы, комбинаций цифр и букв на выходе вычислительной машины, человеческой речи, пения, музыки, изображения — неподвижного (фототелеграмм, газетных полос) или подвижного (телевизионного). Так как расстояния, на которые передается информация, могут составлять от нескольких метров до десятков тысяч километров (например, международная связь), то в общем принято говорить о линиях связи. Кабель, как любое изделие заводского производства, имеет определенные размеры и массу. Вероятно, каждый читатель видел на улицах кабели, намотанные на большие деревянные катушки, называемые барабанами, более точно — кабельными барабанами.

Для каждой конструкции кабеля нормируется та длина, которую он будет иметь в готовом виде намотанным на барабан, — так называемая строительная длина. Например, строительная длина одного из типов междугородных кабелей 825 м. Чтобы построить линию связи протяженностью 500 км, необходимо проложить и соединить между собой муфтами 605 строительных длин такого кабеля.

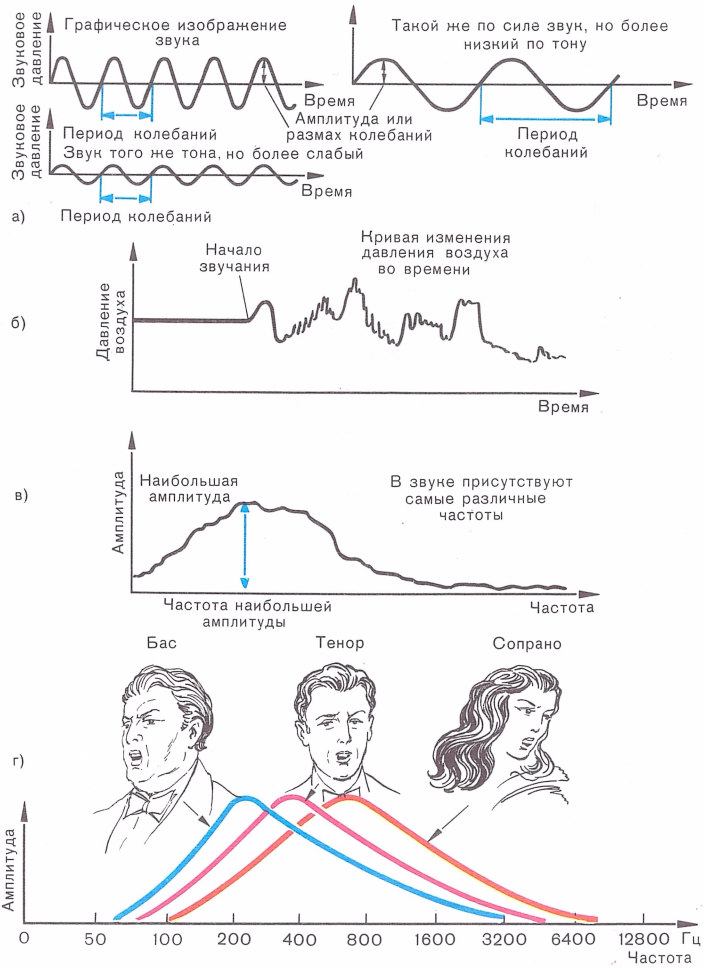
Кабель является главным звеном линии связи, от конструкции кабеля зависят в основном свойства линии. Чтобы понять хотя бы в общих чертах многообразие конструкций кабелей связи и методов их изготовления, надо уяснить требования, которые к ним предъявляются. Хотя способов передачи информации немало (кроме средств электрической связи не надо сбрасывать со счетов много-

вековую труженицу — почту), вряд ли кто-нибудь возьмется оспаривать, что самое быстрое, удобное, оперативное, наиболее популярное на всем земном шаре средство связи XX века — телефон. Вот почему рассматривать конструкции кабелей связи будем, в первую очередь, с точки зрения специфических особенностей телефонной передачи.

Когда понятна станет генеральная идея, легко будет уяснить любое частное конструктивное решение. По кабелю передается человеческая речь, то есть сочетание различных сложных звуков. Наши легкие генерируют воздушный поток. Между дыхательным горлом (точнее, в верхней его части) и полостью рта расположены две мускульные упругие перепонки — голосовые связки, образующие щель. Начиная говорить, человек с помощью мускулов приводит голосовые связки в сложное колебательное движение, которое передается воздушному потоку, проходящему в это время через упомянутую щель. Так возникает звуковая волна, звук.

Во всяком звуке различаются его сила, высота (тон) и тембр (оттенок). Взрослый человек издает сильный звук, старый человек — слабый звук (что касается детей, то они способны издавать звуки такой силы, что диву даешься). Различны силы звука двигателей реактивного самолета и, допустим, комара. Зато писк комара имеет очень высокий тон, а гудок парохода, например, очень низкий тон. Высота тона зависит от частоты колебаний источника звука, то есть от числа колебаний в секунду.

За единицу частоты принято одно колебание в секунду. Названа эта единица герц (Гц) по имени немецкого физика Генриха Герца (1857—1894), доказавшего в 1888 г. существование электромагнитных волн. Длинные толстые струны рояля, натянутые в левой его части, при ударе молоточка колеблются медленно. Звуки, издаваемые ими, получаются низкими — это басы. Самый низкий звук рояля имеет частоту 27 Гц, что соответствует 27



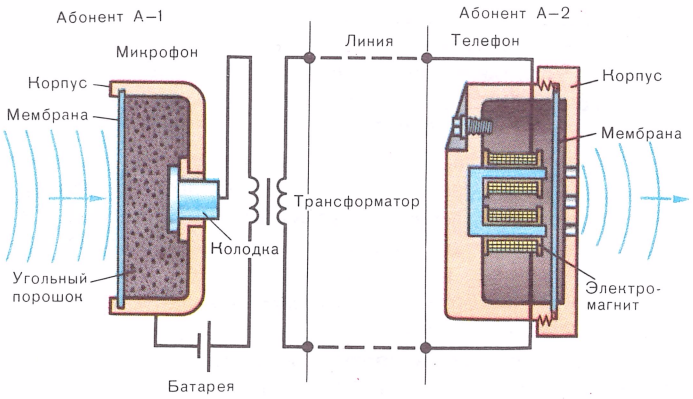
Графическое изображение звуков:
а **— простые звуки;** ***б, в*** **— сложный непериодический звук;** ***г*** **— частотный спектр человеческой речи и пения**

колебаниям струны в секунду. В правой части рояля натянуты короткие тонкие струны. Они колеблются с большой частотой, и издаваемые ими звуки получаются высокими — это дисканты. Частота самого высокого звука рояля 4000 Гц. А у духового инструмента флейты — пикколо частота звуков доходит до 9000 Гц.

Тембр или оттенок звука — индивидуальная особенность, присущая голосу того или другого человека. Звуки одной и той же силы и одинаковых частот различны по своему звучанию. Камертон издает простой звук. Музыкальные звуки — сложные; их называют сложными периодическими. Но самыми сложными звуками являются шумы, а также звуки человеческой речи; их называют сложными непериодическими. Кстати, звуки речи, если они поются, а не произносятся, относятся к категории музыкальных, то есть просто сложных звуков. Помните, телефон Рейса мог передавать пение и музыку, но не членораздельную человеческую речь. В старой смешной комедии В. Дыховичного и М. Слободского "Факир на час" один из персонажей, лифтер — заика Аким, свою речь выпевает. Ему легче петь, не заикаясь, чем говорить.

Весьма сложный звук человеческой речи состоит из основного тона и дополнительных тонов, называемых обертонами. Именно обертоны и придают голосам каждого человека индивидуальные оттенки, благодаря которым мы различаем голоса и узнаем невидимого собеседника.

Каждому голосу соответствуют определенные пределы частот, в которых лежат его основные тоны: басу 80—300 Гц, баритону 100—400, тенору 125—500, контральто 150—600, сопрано 250—1100 Гц. В этих пределах амплитуды (размахи) звуковых колебаний наиболее сильные. Частоты колебаний дополнительных тонов в несколько раз выше, а их амплитуды в несколько раз меньше, чем основного тона. В конечном счете можно сказать, что каждый весьма сложный звук человеческой речи со-



Принцип действия телефона

держит множество простых составляющих с различными амплитудами и с частотами от 80 до 6000 Гц.

Мощность звуков человеческой речи в среднем 10 микроватт (10 мкВт = $10 \cdot 10^{-6}$ Вт). При громком крике мощность доходит до 1000 мкВт, а при очень тихом шепоте падает до 0,01 мкВт. Отвлекитесь на минуту, читатель, и вспомните о мегаваттах (МВт) и гигаваттах (ГВт), то есть о миллионах (10^6) и миллиардах (10^9) ватт современных энергетических установок. Сразу станет понятной полярность конструкций энергетических силовых кабелей, или, как их раньше называли, кабелей сильного тока, и кабелей связи, прежнее название которых было кабели слабого тока (слаботочные).

Звуковые волны, проникая в слуховой канал человеческого уха, заставляют колебаться барабанную перепонку. Колебания барабанной перепонки, расположенной между наружным ухом и средним ухом, посредством слуховых косточек — молоточка, наковальни и стремячка — передаются жидкости, наполняющей лабиринт внут-

реннего уха. Колебания этой жидкости воспринимаются окончаниями слухового нерва как звук. Ухо человека способно улавливать звуки, частоты которых лежат в пределах 16—20000 Гц. Наиболее чувствительное ухо к звукам частотой 1000—2000 Гц.

При телефонном разговоре звуки речи, произносимой абонентом *А*—1, улавливаются микрофоном, преобразующим звуковые колебания в электрические. Микрофон состоит из расположенных в корпусе двух латунных электродов — неподвижного и подвижного в виде круглой тонкой пластинки — мембраны, к которым подводится от батареи постоянный электрический ток. Пространство между обоими электродами неплотно засыпано угольным порошком, масса которого 0,5—1,25 г. Под воздействием звуковых волн мембрана колеблется и с разной силой давит на угольные зерна. За счет этого изменяется сопротивление контактов между ними и, следовательно, общее сопротивление микрофонной цепи. Соответственно изменяется протекающий по цепи ток, причем пульсации тока повторяют характер звуковых колебаний.

Микрофон не только преобразует звуковые колебания в электрические, но и усиливает их примерно в 100 раз. Средняя мощность на выходе микрофона один милливатт (1мВт = 10^{-3} Вт).

Трансформатор *Тр* преобразует пульсирующий ток в переменный, который и течет по линии связи, соединяющей абонентов *А*—1 и *А*—2. Основными частями телефона являются электромагнит и мембрана из ферромагнитного материала — мягкой жести. Когда через обмотку электромагнита проходит переменный ток, мембрана то сильнее, то слабее притягивается к сердечнику электромагнита. Механические колебания мембран (с амплитудой 0,000002—0,01 мм) вызывают появление звуковых колебаний, которые по частоте и форме подобны колебаниям переменного тока, питающего электромаг-

нит. В результате телефон воспроизводит такие же звуковые колебания, как те, которые воздействовали на мембрану микрофона. Чувствительность телефона 1 мкВт (10^{-6} Вт).

Так как телефонный разговор двусторонний, то микрофон и телефон встраиваются в одну общую трубку. Питание микрофонных цепей производится не от индивидуальных (местных) батарей а от общей центральной батареи, находящейся на телефонной станции.

При разговоре по телефону каждый из абонентов, естественно, хочет разборчиво понимать речь другого. Для этого достаточно передавать по линии не все частоты человеческой речи, а лежащие в более узком спектре 300—3400 Гц. Понятность речи будет удовлетворительной. Для передачи концертных программ с музыкой и пением требуется более широкая полоса частот — от 50 до 12000 Гц.

Часто говорят "низкие частоты", "высокие частоты". Понятия "низкие" и "высокие" — относительные. Для энергетиков, имеющих дело с так называемой промышленной частотой 50 Гц, частота 3000 Гц покажется высокой, а для радистов, предпочитающих ультра- и сверхвысокие частоты вплоть до 10^{12} Гц, эта же частота едва ли не самая низкая. В технике проводной электросвязи принято частоты ниже 12000 Гц (12 кГц) считать низкими или тональными, а от 12000 Гц и выше — высокими.

ЛИРИЧЕСКОЕ ОТСТУПЛЕНИЕ

В книгах, где отражена история техники, описание прошлого всегда романтичнее, а в описании настоящего — явный крен в сторону техники. Как много зависит от точки отсчета! Ретро — не только мода или ностальгия по ушедшему. Вероятно, во все времена ретро олицетворяло романтику прошлого. Сегодня романтичны не

только поэзия прошлого с ее четкими рифмами, не только старые танго и цыганские романсы, романтичны даже труд и наука прошедших веков. Нам кажется значительной и интересной любая деталь романтической прокладки трансатлантического телеграфного кабеля. А для ее участников это был будничный нелегкий, ничем особенно не примечательный труд. Быть может, будущим поколениям таким же притягательным романтичным ретро покажутся наши НИР и ОКР, ТУ и ТЗ, МВК* и мучительно пробиваемые порой внедрения, растягивающиеся иногда тоже на десятилетия. А вдруг увидят они (потомки) и в нашей повседневности романтику преодоления трудностей, создания и освоения нового, романтику научных поисков. Увидят, если сохраним для них свидетельства этих созидательных поисков и свершений. Поэтично, точно и, как всегда, немного со щемящей грустью сказал устами героя одного из своих рассказов В. Лидин: "История роняет листья, как деревья, и пусть они хоть и слетают, в каждом из них частица истории, и наше дело, современников, не уступить ветру времени ни одного листочка, наше дело сохранить их"**.

В последние годы ученые все чаще говорят и пишут о красоте науки. О гармонии частей, образующих целое, о стройности логических построений, о впечатляющей симметрии уравнений. Об эстетичности верных построений: "Некрасивое уравнение неверно!". Примером симметрии и красоты признаны "великие уравнения" электродинамики Дж. К. Максвелла. Известный английский физик XX века Поль Дирак сделал в МГУ следующую запись: "Физический закон должен быть математически изящным".

---

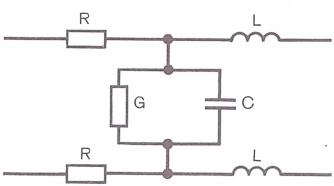
* Научно-исследовательские работы, опытно-конструкторские работы, технические условия, технические задания, межведомственные комиссии.

** В воскресенье летом в городе. — Наш современник, 1967, № 7.

Ощущение красоты вызывают простота и рациональность расчетных формул, остроумие и артистизм эксперимента, смелость и лаконизм инженерных решений. А потому, читатель, . . .

ЕЩЕ НЕМНОГО ТЕОРИИ

Итак, передача разночастотных электрических сигналов при телефонном разговоре производится по двухпроводной цепи, состоящей из двух токопроводящих изолированных жил. Не будем отвлекаться на описание воздушных проводных линий связи, где изоляцией между проводами является воздух, ввиду их явной несостоятельности по сравнению с кабельными линиями. Обе жилы цепи на всем протяжении, естественно, имеют одинаковые диаметры проволоки, одинаковые конструкции и толщины изоляции. Следовательно, электрические параметры цепи равномерны по всей длине. Такие линии называются однородными. Каждый элементарный участок двухпроводной цепи характеризуется четырьмя электрическими параметрами. С двумя из них — электрическим сопротивлением R и емкостью C — мы уже познакомились в главе 4. Правда, там была емкость однопроводной цепи, а здесь двухпроводной, но физический смысл не изменился, — две токопроводящие жилы, разделенные диэлектриком, также являются конденсатором, — лишь несколько усложнилась расчетная формула емкости.



Первичные параметры передачи кабельной цепи

Третий параметр, которого не было при передаче телеграфных сигналов постоянным током, называется индуктивностью. Когда по цепи идет переменный ток, вокруг нее согласно закону электромагнитной индукции, открытому М. Фарадеем 29 августа 1831 г., создается переменное магнитное поле. Это поле, в свою очередь, наводит (принято говорить индуцирует) электродвижущую силу (ЭДС) в тех самых жилах, по которым течет ток, создающий это поле. Наведенная ЭДС является в действительности противоэлектродвижущей, так как она уменьшает напряжение и силу текущего по цепи тока. Указанное явление называется самоиндукцией, а его количественная мера и есть индуктивность L. Индуктивность, подобно сопротивлению и емкости, служит характеристикой цепи; она зависит от размеров жил, расстояния между ними, а также от свойства проводникового материала — его магнитной проницаемости μ. Единица индуктивности — генри (Гн).

Четвертый параметр — проводимость изоляции G. Хотя в отличие от металлов диэлектрики обладают весьма большим удельным сопротивлением, оно все же не бесконечно. Поэтому при наличии между токопроводящими жилами цепи разности потенциалов через изоляцию потечет ток утечки, так называемый сквозной ток проводимости. При передаче по цепи постоянного тока качество изоляции оценивается сопротивлением изоляции $R_{из}$; так как оно велико, то обратная величина — проводимость изоляции при постоянном токе G_0 — мала и ток утечки невелик. Сложнее картина при передаче по цепи переменного тока. В этом случае через изоляцию протекает еще один ток — ток абсорбции, обусловленный ориентацией несущих разноименные электрические заряды молекул вещества в направлении электрического поля. Так как поле переменное, то бесконечная переориентация молекул вызывает потери. Эти дополнительные потери как

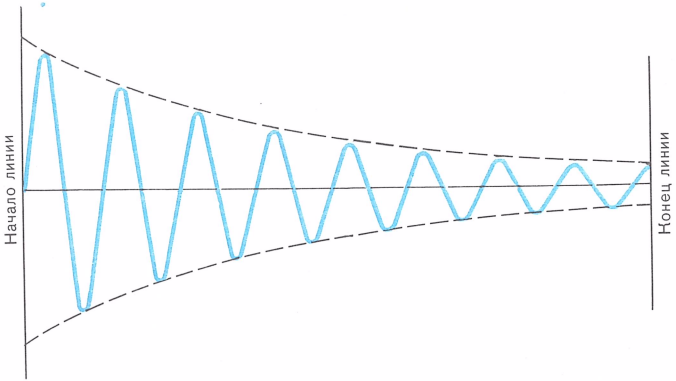
бы соответствуют увеличению проводимости изоляции, то есть ухудшению ее электроизоляционных свойств. Они зависят от частоты передаваемого тока f, емкости изоляции C, а также от свойства материала, именуемого углом диэлектрических потерь δ.

Активная проводимость изоляции при переменном токе $G_f = \omega C \operatorname{tg} \delta \approx 2\pi f C \operatorname{tg} \delta$, где $\omega = 2\pi f$ — так называемая угловая частота; $\operatorname{tg} \delta$ — тангенс угла диэлектрических потерь, выраженный в радианах.

Каждый элементарный участок цепи содержит сопротивление и индуктивности обеих токопроводящих жил, емкость и проводимость изоляции между ними. Согласно классификации электротехники — это цепи с распределенными параметрами. В теории линий связи параметры R, L, C, G называются первичными параметрами передачи.

Преобразованные из звуковых и усиленные микрофоном электрические сигналы тональных частот по мере прохождения по линии связи от говорящего абонента к слушающему постепенно ослабевают. Часть мощности расходуется на преодоление электрического сопротивления токопроводящих жил, на их неизбежный нагрев (в отличие от силовых кабелей нагрев кабелей связи слабым током в несколько миллиампер практически неощутим, но мощность все же теряется). Частично мощность уменьшается за счет противоэлектродвижущей силы самоиндукции. Наконец, потери передаваемой мощности связаны с утечкой тока через изоляцию, обусловленные как ее емкостью (напомним, что при переменном напряжении по цепи с конденсатором проходит электрический ток — емкостный ток), так и проводимостью.

В результате к концу линии длиной l придет мощность P_l, значительно меньшая, чем та, которая поступила к ее началу P_0. Степень уменьшения мощности передаваемых по линии сигналов количественно оценивается величиной, называемой собственным ослаблением или собствен-



Ослабление передаваемого по линии сигнала

ным затуханием линии. Собственное ослабление (затухание) обозначается буквой *а* и выражается в белах (Б) или в их десятых долях — децибелах (дБ). Например, $a = \lg P_0/P_l$, *Б* или $a = 10 \lg P_0/P_l$, дБ. Вы уже, вероятно, догадались, читатель, что единица ослабления названа в честь изобретателя телефона.

В последние годы представление о децибелах широко вошло в сознание городских жителей из-за все возрастающей громкости уличных, да и не только уличных шумов. Шорох листьев создает шум всего в 10, а обычная человеческая речь и негромкая музыка — в 40 дБ; шум в ресторане оценивается в среднем в 50, громкого радиоприемника — в 60, а двигателя грузового автомобиля — в 70 дБ; автомобильный гудок воздействует на нас уже 90 децибелами, а реактивный лайнер (вблизи) — 120 (пожалуй, ненамного уступят ему некоторые ВИА). При 130 дБ наступает болевой предел.

Мы помним, что мощность на выходе микрофона 1 мВт (10^{-3} Вт), а телефон способен улавливать мощ-

ность 1 мкВт (10^{-6} Вт). Значит, допустимое затухание линии связи, какой бы она ни была длины, не должно быть больше $a = 10 \lg 10^{-3}/10^{-6} = 10 \lg 1000 = 30$ дБ (информация для лириков: десятичный логарифм 1000 равен трем). Практически допускают несколько меньшее ослабление — около 28 дБ. При таком ослаблении до телефона доходит только 1/630 часть энергии, посылаемой в линию микрофоном. Коэффициент полезного действия линии связи меньше 0,2%. Создатели линий электропередачи — воздушных и кабельных стремятся свести потери энергии в них до минимума, практически до нескольких процентов. А у связистов 99,8% энергии теряется в линии. Но это не страшно, ибо главная цель — не энергетическая. Главное — обеспечить телефонную передачу. Уже при ослаблении 35 дБ слышимость недостаточная, до телефона доходит только 1/3000 начальной энергии, то есть 0,33 мкВт. Предельно допустимое значение ослабления 30 дБ относится к любой линии между двумя абонентами, находящимися как внутри одного города, так и в разных городах. В первом случае длина линии составляет несколько километров или десятков километров, во втором — сотни и тысячи километров.

Для сравнения электрических свойств кабелей различных конструкций удобнее пользоваться удельными значениями электрических параметров, отнесенных к единице длины линии. За единицу длины линии связи принят 1 км. Собственное ослабление, отнесенное к одному километру линии, рекомендуется называть коэффициентом ослабления (привычнее его прежнее наименование — коэффициент затухания — и потому автор, рискуя навлечь на себя упрек в терминологической непоследовательности, будет в дальнейшем пользоваться также и им). Коэффициент ослабления обозначается буквой α и измеряется в дБ/км. Рекомендуем запомнить простое соотношение $\alpha = a/l$.

Выше говорилось, что причиной рассеяния мощности в линии являются четыре первичных параметра R, L, C, G. От них, следовательно, и зависит коэффициент ослабления. Дабы не искушать читателей красотой симметрии полной формулы, воспользуемся лишь двумя приближенными:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2}\omega C (R - \omega L)} \quad \text{и} \quad \alpha = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}.$$

В обеих формулах параметром G, который, как правило, во всяком случае в диапазоне тональных частот, меньше остальных трех, пренебрегли. Чем меньше коэффициент ослабления кабеля, тем больше при прочих равных условиях длина линии, или дальность связи $l = a/\alpha$.

Уменьшение α — генеральная цель конструкторов кабеля связи на протяжении всех лет существования последних. Какими путями этого можно достигнуть, мы узнаем, прочитав о том, как

ОЛИВЕР ХЕВИСАЙД ПОСТАВИЛ УСЛОВИЕ

В кратких биографиях выдающегося английского математика, физика и электротехника О. Хевисайда (1850—1925) встречаются слова: застенчивый, склонный к уединению, довольно трудный, болезненный, эксцентричный, большой упрямый ребенок, нелепый и одинокий. . . Днем он якобы спал, а ночью ставил опыты и писал статьи. . . Работал только тогда, когда искусственно поднимал температуру в наглухо закрытой и зашторенной комнате выше 30° С. Возможно и так. Но хотелось бы поставить на первое место другие эпитеты: труженик, провидец, гордый, нетерпимый к несовершенству, гениальный теоретик. Член Лондонского королевского общества автор пятитомной монографии "Электромагнитная теория" Хевисайд создал свой знаменитый операторный метод расче-

та переходных, или нестационарных, процессов в электрических цепях, до сих пор применяемый в электротехнике и радиотехнике. В 1902 г. он указал на существование ионизированного слоя в атмосфере земли, отражающего радиоволны. Экспериментально этот слой — ионосфера, окружающая землю на высоте от 60 до 500 км, — был открыт только в 1924 г., после чего началось широкое развитие коротковолновой радиосвязи.

В 1893 г. Хевисайд опубликовал свои исследования о значении индуктивности при распространении разговорных токов по кабельной линии и обратил внимание на то, что коэффициент ослабления может быть уменьшен путем искусственного увеличения индуктивности. Для осуществления этого надо, например, включить в линию через определенные интервалы катушки индуктивности. Он показал, что коэффициент ослабления будет минимальный при соблюдении условия

$$R/L = G/C \text{ или } RC = LG.$$

Указанное оптимальное соотношение всех четырех первичных электрических параметров кабеля так и называется условием Хевисайда, при соблюдении которого $\alpha = \alpha_{\min} = \sqrt{RG}$.

Поначалу его идея, как это не раз бывало в истории техники, была встречена в Англии насмешками, однако менее чем через десять лет получила убедительную и широкую практическую реализацию. Какую именно, мы узнаем из главы "Страна Эль-эф". Ученый вывел оптимальное соотношение, анализируя полную формулу коэффициента ослабления. Из известных автору нескольких десятков книг по кабелям и линиям связи только в одной — почти полувековой давности — показано остроумное преобразование полной формулы и ее дифференцирование по Хевисайду. В остальных условие Хевисайда выводится на основе приближенных формул. Воспользуемся ими и мы. Но сначала оценим, в какой мере соответствуют условию Хеви-

сайда параметры обычных кабелей. Возьмем для примера кабель с токопроводящими жилами диаметром 1,2 мм и с воздушно-бумажной изоляцией, уже появившейся в начале 90-х годов прошлого столетия. Параметры цепи такого кабеля следующие: $R = 32$ Ом/км; $C = 50 \cdot 10^{-9}$ Ф/км; $L = 0{,}8 \cdot 10^{-3}$ Гн/км. Определим G на средней частоте разговорного диапазона $f = 1600$ Гц (тогда $\omega = 2\pi f \approx \approx 10000$ рад/с) при $\operatorname{tg} \delta = 5 \cdot 10^{-3}$. Следовательно, $G = \omega C \operatorname{tg} \delta = 10^4 \cdot 50 \cdot 10^{-9} \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 25 \cdot 10^{-7}$ См/км.

Таким образом,

$$RC : LG = 32 \cdot 50 \cdot 10^{-9} : 0{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 25 \cdot 10^{-7} = 1{,}6 \cdot 10^{-6} : 2 \cdot 10^{-9} = 800 : 1.$$

Как из приведенного неравенства, так из ранее написанных упрощенных формул видны пути приближения к минимальному ослаблению. Рассмотрим их последовательно, но прежде всего отбросим путь увеличения G, ибо увеличить проводимости изоляции — значит ухудшить ее качество, вследствие чего возрастут потери в линии, токи утечки. Итак, первый путь — уменьшение электрического сопротивления токопроводящих жил. Возможны два варианта: использовать материал с меньшим удельным сопротивлением, чем у меди; увеличить диаметр жил. Вариант замены меди в этом смысле бесперспективен, так как меньшим примерно на 10% удельным сопротивлением обладает только серебро. Правда, в литературе описан случай, когда во время второй мировой войны казначейство Соединенных Штатов Америки выделило на время свыше 15 000 т серебра для изготовления обмотки крупнейшего электромагнита, необходимого для отделения изотопов урана. Но, во-первых, сохранность серебра обеспечивалась столь же надежно, как и в подвалах государственного банка, во-вторых, в эти же подвалы оно и вернулось после демонтажа электромагнита.

Увеличение диаметра жил экономически невыгодно, так как ведет к перерасходу дефицитной меди, к увеличению размеров и массы кабелей и, главное, неэффективно: сопротивление можно уменьшить лишь в несколько раз.

Второй путь — уменьшение емкости. Но и он недостаточно эффективен, хотя не сопровождается перерасходом меди. Увеличивать толщину изоляции также экономически невыгодно. Практически за сто лет удалось уменьшить емкость всего в несколько раз. Следовательно, прав был Хевисайд: проще и в то же время эффективнее оказалось в десятки и сотни раз увеличивать индуктивность.

Все же, безотносительно к условию Хевисайда, стремление к уменьшению электрической емкости пронизывает красной нитью все периоды и этапы создания кабелей связи. Это стремление принесло и продолжает приносить ряд оригинальных конструкивных и технологических решений, не теряло оно практического смысла и в наши дни, не потеряет и в перспективе.

КАСКАД ИЗОБРЕТЕНИЙ

Конструкция и технология 1869 года. В первые пять лет становления телефонии использовались конструкции и способы изготовления телеграфных подземных кабелей. По способу, предложенному в 1869 г., медные проволоки изолировались хлопчатобумажной пряжей, предварительно вываренной в парафине. Пряжа накладывалась на проволоку методом обмотки в двух противоположных направлениях. Требуемое количество изолированных жил затягивалось в свинцовую трубу, которая затем наматывалась на барабан, и все вместе помещалось в резервуар, заполненный расплавленным парафином. Один конец свинцовой трубы подключался к воздушному насосу, который прогонял через трубу парафин, вытес-

нявший при этом воздух. Заключительными операциями были перемотка кабеля через резервуар с холодной водой — при этом парафин, заполнивший свободные промежутки в сердечнике, затвердевал — и протягивание через обжимную волоку. Это был исторически первый пример применения заполнителя для защиты от проникновения влаги внутрь сердечника.

Конструкция и технология 1875 года. Хлопчатобумажная пряжа предварительно не проваривается в парафине. Каждая жила с двухслойной, а иногда и трехслойной изоляцией сначала сушится в печи (первое применение технологической операции сушки), затем пропитывается в горячем парафине или парафиновом масле. Группа изолированных жил обматывается джутом, пенькой или другим волокнистым материалом и обрабатывается так же, то есть сушится и пропитывается, как отдельные жилы. Готовый сердечник затягивается в железную или чугунную трубу длиной 3 — 3,2 м диаметром 40 мм. Такая труба вмещает до 200 изолированных жил с медной проволокой диаметром 0,3—0,4 мм и имеет на концах винтовую нарезку. Один конец трубы заделывается Т-образным соединителем, на другой временно навинчивается колпачок. Промежутки между сердечником и стенками трубы и внутри сердечника заполняются через Т-образный соединитель парафиновым маслом. При прокладке линии конец строительной длины, с которого свинчивается колпачок, вводится в соединитель предыдущей строительной длины, где сращиваются жилы. После окончания монтажа Т-образный соединитель высушивается нагревом, заполняется парафиновым маслом и герметизируется. Для поддержания уровня масла в линии предусматривались вертикальные отрезки труб, соединенные с масляными баками, расположенными на возвышенных местах. Ну, чем не современная линия — только энергетического силового маслонаполненного кабеля на напряжение 110 или 220 кВ.

Налицо другой, на наш взгляд, более сложный способ защиты изоляции жил от влаги посредством не твердого, а жидкого заполнения. Отказ от свинцовой трубы был вызван мягкостью свинца, его небольшой механической прочностью.

Первая опытная сушка волокнистой изоляции жил не при атмосферном давлении, а под вакуумом была проведена в 1880 г.

Следующим шагом, переходным от телеграфных к собственно телефонным кабелям, явилось предложение содержать кабельные линии с целью защиты от влаги под избыточным давлением не масла, а воздуха или газа. Смысл идеи состоял в том, что при возникновении дефекта уплотнения в месте сращивания труб находящийся под давлением газ будет препятствовать проникновению влаги из атмосферы внутрь трубы. Забегая вперед, сообщим, что современные городские телефонные и междугородные кабели содержатся в эксплуатации под избыточным воздушным давлением.

Порой в литературной критике высказывается мысль, что сюжеты ряда произведений почерпнуты из библии, сочиненной на заре нашей эры. Немало сюжетов, по которым создаются современные конструкции кабелей связи, родилось на заре кабельной техники.

Идея о применении воздуха явилась, пожалуй, решающей ступенью прогресса в области кабелей связи. Электрическая емкость телеграфных кабелей была велика — около 200 нФ/км ($200 \cdot 10^{-9}$ Ф/км) — из-за большой относительной диэлектрической проницаемости пропитанной хлопчатобумажной изоляции ($\epsilon_r \geqslant 4$). Помните, C прямо пропорциональна ϵ_r. Вследствие значительной емкости велик был коэффициент ослабления кабельных цепей, что существенно ограничивало дальность телефонной связи. Увеличить длину линии можно было только за счет большего диаметра токопроводящих жил. В то же время из-

вестно, что из всех диэлектриков самой малой относительной диэлектрической проницаемостью обладает воздух: его $\epsilon_r = 1$ (информация для педантов: более точно, $\epsilon_r = 1{,}000594$ при 0° С и 760 мм рт. ст.).

Конструкции и технологии 1880-х годов. В 1882 г. была предложена конструкция изоляции жил, частично состоявшей из воздуха, благодаря чему электрическая емкость кабелей несколько уменьшилась. Токопроводящая жила обматывалась по открытой спирали корделем — крученой волокнистой нитью, поверх которой накладывалось также спирально несколько лент из влагонепроницаемой пропитанной каучуковым соком бумаги. Так год 1882-й стал годом рождения современной кордельно-ленточной изоляции.

Не сразу рискнули инженеры отказаться от влагозащитного заполнения и перейти с парафина на воздух. Оригинальное компромиссное решение было предложено в 1884 г. Внутрь свинцовой трубы с затянутым в нее сердечником вводился расплавленный парафин вместе с газом под давлением. Охлажденный парафин приобретал пористость, что понизило емкость кабеля почти на 15%. В известной мере это был прообраз современной пористой полиэтиленовой изоляции. Автор конструкции снова вернулся к свинцовым трубам, но уже не из чистого металла, а из сплава свинца с цинком, который добавлялся для повышения механической прочности. Первые 7000 метров (всего семь километров!) такого кабеля с числом жил от 3 до 75 диаметром 0,4 и 0,9 мм были проложены в земле, под водой (по дну реки) и подвешены на столбах в 1885 г.

В 1880 г. из-за сильных взаимных помех, так называемых переходных разговоров, при одновременном соединении нескольких абонентов было предложено отказаться от однопроводных несимметричных цепей с использованием в качестве обратного провода земли и перейти на

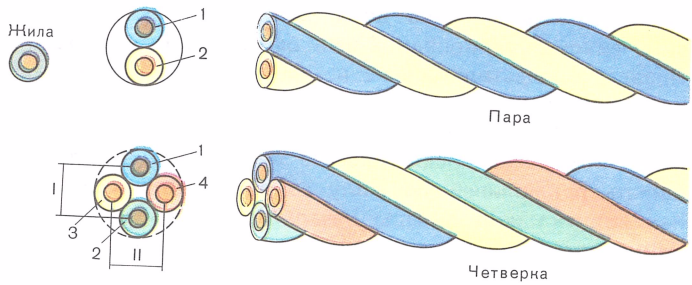
симметричные цепи из двух жил. Первая конструкция скрученной двухпроводной цепи была предложена в 1881 г. Правда, осуществлялась не взаимная скрутка, а спиральная обмотка одной жилы другой. Для устранения образующегося при этом неравенства электрических сопротивлений обеих жил предлагалось в местах соединения скрещивать прямолинейную жилу со спиральной. Современная скрутка жил в пары начала применяться с 1882 г. Законодательное решение о переходе на двухпроводные телефонные цепи было принято на Втором международном конгрессе электриков, состоявшемся в Париже в 1889 г.

Заслуживает внимания красивое инженерное решение, запатентованное в 1886 г. С. Ф. Шелбурном (США). Он предложил скручивать одновременно четыре жилы, но составлять цепи не из рядом лежащих, а из противолежащих жил, то есть расположенных по диагоналям образованного в поперечном сечении квадрата. Чтобы оценить оригинальность замысла Шелбурна, вспомним, что емкость как плоского, так и цилиндрического конденсатора уменьшается с увеличением расстояния между его обкладками. Двухпроводную цепь также можно рассматривать как конденсатор, обкладками которого являются токопроводящие жилы. В зависимости от расстояния между ними a емкость цепи C изменяется по логарифмическому закону:

$$C \doteqdot \frac{1}{\lg \frac{2a}{d_0}},$$

где $\doteqdot$ — символ пропорциональности; d_0 — диаметр токопроводящих жил.

Более полная формула, учитывающая, кроме того, влияние на рассматриваемую цепь окружающих ее в кабеле цепей, была выведена лауреатом Государственной премии СССР доктором технических наук профессором Василием Николаевичем Кулешовым в 1938 г.



Виды скрутки изолированных жил в группы

Из сопоставления сечений пары и четверки видно, что при одинаковых конструкциях и, соответственно одинаковых размерах токопроводящих и изолированных жил расстояние *a* между жилами *1* и *2*, *3* и *4* каждой из цепей *I* и *II* четверки в $\sqrt{2}$ = 1,414 раз больше, чем между жилами в паре. В этом состоит так называемый автоэффект четверки: без изменения конструкции жил и увеличения расхода материалов только за счет способа скрутки удается получить на 10—15% меньшую емкость и, следовательно, меньший коэффициент ослабления. Если мысленно провести диагонали между жилами четверки, расположенными в ее поперечном сечении по углам квадрата, то получится четырехлучевая звезда. Вот почему такая скрутка изолированных жил в группу во всем мире называется звездной. Звездная четверочная скрутка является основным видом скрутки жил в современных симметричных кабелях дальней связи.

Событием в технологии кабельного производства, значение которого трудно переоценить, явилось изобретение и внедрение пресса, позволяющего накладывать свинцовую оболочку на движущийся поступательно сердечник. Первоначальная идея принадлежит швейцарскому

инженеру Франсуа Борелю. Первый патент на вертикальный свинцовый пресс был выдан франко-швейцарской фирме "Э. Бергхуд и Ф. Борель" в октябре 1879 г. Но конструкция пресса оказалась непрактичной. На нем можно было опрессовывать относительно небольшую длину кабеля, на оболочку которой хватало одного слитка свинца. После выдавливания слитка сердечник приходилось разрезать. И все же по сравнению с ручным затягиванием сердечника в трубу был сделан шаг вперед.

В 1880—1881 гг. были предложены более совершенные конструкции прессов; горизонтального — двухконтейнерного и вертикального — одноконтейнерного, допускающих опрессование целиком строительной длины кабеля с периодическими остановками для загрузки в контейнеры (или контейнер) очередного слитка свинца. Эти прессы смело можно считать прообразами современных свинцовых и алюминиевых прессов.

Когда чересчур рьяные ревнители чистоты русского языка возмущаются применением укоренившихся терминов "свинцовый пресс" и 'алюминиевый пресс", говоря, что сами прессы сделаны не из свинца или алюминия, а из стали, не остается ничего лучшего как напомнить им, что нефтяные принцы Объединенных Арабских Эмиратов тоже сделаны не из нефти, а угольные магнаты Рура состоят, как все мы грешные, из живых клеток, а не из пластинок антрацита.

Окончательно конструкция свинцового поршневого гидравлического кабельного пресса была усовершенствована и внедрена к 1885 г. В начале того же года известным уже нам В. Сименсом была изобретена кабельная броня из стальных лент. В патентном описании говорилось: "Проложенный в земле (освинцованный. — *Прим. авт.*) кабель необходимо защитить от повреждений извне, например, от возможных сильных ударов острой лопатой, для чего предлагается обматывать кабель по спирали

двумя сравнительно узкими стальными лентами, причем каждая накладывается с зазором (примерно 1/3 ширины ленты. — *Прим авт.*), перекрываемым соседней лентой. Благодаря такому способу наложения бронелент сохраняется достаточная гибкость кабеля".

Сказанное дает основание считать именно 1885-й год началом промышленного кабельного производства и одновременно началом эры подлинно подземных кабелей, имеющих все необходимые составные части: токопроводящие жилы, изоляцию (независимо от того, из какого она материала), влагозащитную свинцовую оболочку и при необходимости броневой защитный покров.

Для достижения этого потребовалось около полувека. Вот почему в отличие от телеграфа, телефона, радио трудно однозначно назвать дату изобретения кабеля связи как промышленного электротехнического изделия.

Конструкции и технологии 1890-х годов. Оставалось пройти еще отрезок времени в пять лет, чтобы "выйти" на оптимальную для кабелей связи изоляцию. Предложенная в 1882 г. изоляция из хлопчатобумажного корделя, воздуха и пропитанной каучуком бумаги привлекла внимание к последней, и на промышленном рынке появилась бумага в виде узких лент. В 1886—1889 гг. проводились опыты (вероятно, НИР и ОКР — по современной терминологии) по применению лент из сухой манильской бумаги, которые накладывались на жилу в виде спиральной обмотки с перекрытием кромок.

Манильской называется бумага, содержащая только или преимущественно волокна тропических растений — манильской конопли (пеньки) и джута. Она отличается высокой плотностью и механической прочностью, долговечностью и малой влагопоглощаемостью.

Наличие герметичной влагонепроницаемой свинцовой оболочки позволило отказаться от пропитки изоляции или введения внутрь кабеля гидрофобного парафино-

вого заполнения. Благодаря усовершенствованию ленто-обмоточных машин стало возможным накладывать бумажную изоляцию на жилу не плотно, а свободно, в виде полой трубки, оставляя между ней и жилой воздушный промежуток.

Первый освинцованный кабель с воздушно-бумажной изоляцией был изготовлен в 1889 г., проложен и сдан в эксплуатацию в Нью-Йорке в 1890 г. С 1891 г. и до середины текущего столетия воздушно-бумажная изоляция в ее различных вариантах была единственным типом изоляции кабелей связи. Не потеряла она своего значения и в наше время.

Полярно отношение к воздуху изготовителей силовых кабелей и кабелей связи. Для силового кабеля воздух — враг номер один. Мельчайший пузырек воздуха в бумажной, а равно и в современной полиэтиленовой изоляции силового кабеля — это ослабленное опасное место, возможный очаг ионизации и последующего пробоя. Вот почему бумажную изоляцию силовых кабелей тщательно высушивают и дегазируют под глубоким вакуумом, после чего основательно заполняют все поры пропиточным составом под давлением.

Для кабеля связи воздух — друг номер один. Выше отмечалось, что относительная диэлектрическая проницаемость воздуха $\epsilon_{r\,в} = 1$. У всех кабельных изоляционных материалов $\epsilon_{r\,д} > 2$. Так, у сухой кабельной или более тонкой телефонной бумаги $\epsilon_{r\,д} = 2{,}0 - 2{,}2$, у полиэтилена $\epsilon_{r\,д} = 2{,}2-2{,}3$ и так далее. Эквивалентная диэлектрическая проницаемость (эк) изоляции, состоящей из твердого диэлектрика (д) и воздуха (в) приближенно определяется по формуле

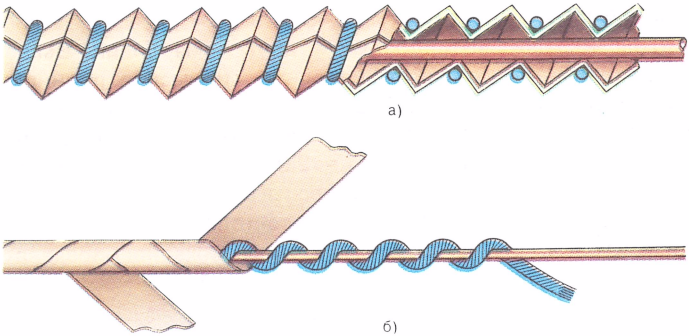
$$\epsilon_{r\,эк} = \epsilon_{r\,д} V_д + \epsilon_{r\,в} V_в,$$

где $V_д$ и $V_в$ — доли объема, занимаемые твердым диэлектриком и воздухом в объеме всей изоляции.

Чем больше будет доля воздуха с минимальным $\varepsilon_{r\,в}$ в данном объеме изоляции, тем меньше окажется ее эквивалентная диэлектрическая проницаемость, тем меньше станут емкость C и коэффициент ослабления α, следовательно, тем бóльшую дальность связи l обеспечит кабель.

Для усиленной защиты отдельных цепей в кабеле от помех были предложены экраны. Впервые жилы телеграфного кабеля с изоляцией из гуттаперчи и просмоленной хлопчатобумажной пряжи были экранированы в 1869 г. Поверх обмотки пряжей на каждую жилу накладывалась спирально лента из станиоля (оловянной фольги) шириной 8—9 мм. Из-за частых обрывов станиолевых лент в процессе наложения в 1892 г. было предложено выпускать их на бумажной основе. В современных кабелях для экранов используется не оловянная, а алюминиевая фольга толщиной 0,1—0,2 мм или металлизированная с одной стороны кабельная бумага.

Успех воздушно-бумажной изоляции, обусловленный тем, что электрическая емкость кабелей уменьшилась втрое, стимулировал поиски различных способов ее на-



Типы воздушно-бумажной изоляции 1890-х годов:
а — баллонная; *б* — кордельно-ленточная

ложения на жилу. К 1892 г. относится удачная попытка накладывать бумажную ленту не спирально, а продольно и посредством специального улитообразного калибра заворачивать ее вокруг жилы в форме треугольника и скреплять кромки фальцованным швом. В конструкции жилы 1897 г. продольно наложенная бумажная трубчатая изоляция формируется посредством обжимного устройства так, что вокруг жилы образуются винтообразные бумажные гофры, центрирующие проволоку. Сразу же вслед за гофрированием изоляция скрепляется нитью, накладываемой по спирали во впадины гофров. Изоляция была названа "баллонной". Технологически сложный способ образования балонно-бумажной изоляции, скрепленной нитью, не привился.

По аналогичной причине также не был внедрен уже в 50-е годы текущего столетия способ образования баллонно-полиэтиленовой изоляции методом спиральной обмотки ее самоусаживающимся полиэтиленовым корделем. В то же время баллонно-полиэтиленовая изоляция, накладываемая методом экструдирования на жилу полой трубки с последующим образованием на ней периодических поперечных пережимов путем механического сдавливания, прочно укоренилась в конструкции одного из типов современных кабелей дальней связи. (Наглядные примеры обратной связи конструкции изделия и технологии его изготовления.)

В те же 1890-е годы, а если точнее, то в 1892 г. была освоена кордельно-бумажная изоляция. Кордель скручивался не из кабельной пряжи, а из тонкой (толщиной 0,04 мм) бумаги. Поверх открытой спирали из корделя на жилу накладывались в противоположных направлениях две бумажные ленты. Максимальное число цепей в кабелях 1880-х годов было невелико — всего 50. Диаметр токопроводящих жил с первоначального "телеграфного" 0,3—0,4 мм был увеличен до 1—1,5 мм, чтобы обеспечить

связь телефонной станции со всеми обслуживаемыми ею абонентами. В 1890-е годы по мере телефонизации городов, с одной стороны, и совершенствования кабельного производства — с другой, максимальное число цепей в кабелях увеличивалось. При этом соответственно снижался нижний предел диаметра жил.

Таблица 6

Развитие конструкций сердечника городских телефонных кабелей конца XIX века

Конструктивные данные	Годы				
	1888	1892	1895	1896	1901
Максимальное число двухпроводных цепей (пар) в кабеле	50	100	150	200	400
Минимальный диаметр токопроводящих медных жил, мм	1,0	0,9	0,9	0,9	0,64

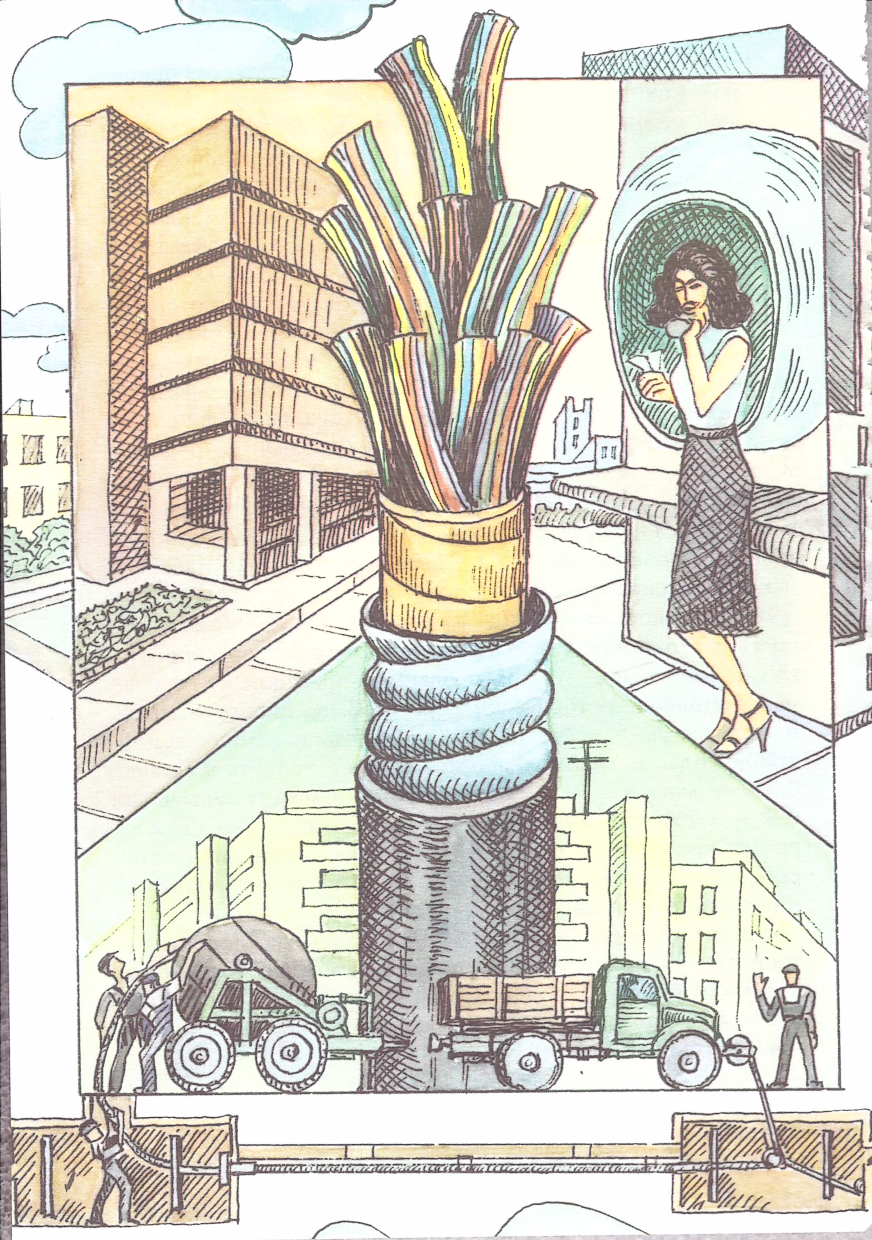
Так же как ранее жилы телеграфных кабелей, пары или четверки при общей скрутке их в сердечник располагались последовательно накладываемыми один на другой концентрическими (более строго — коаксиальными) повивами. Такая скрутка, бывшая в течение ряда десятилетий вообще единственной и продолжающая оставаться таковой в современных кабелях дальней связи, называется повивной. Вот как располагаются пары по повивам сердечника 30-парного и 100-парного кабелей от центра к периферии: $30 \times 2 = (4 + 10 + 16) \times 2$; $100 \times 2 = (2 + 8 + 14 + 20 + 26 + 32) \times 2$ (во второй конструкции предусмотрены две запасные пары).

Таким образом, к началу XX века была создана оригинальная конструкция телефонных кабелей и освоена технология их промышленного производства. К этому времени в мире насчитывалось почти 2 миллиона телефонов и было подвешено на столбах и проложено в земле около 4,5 млн. км телефонных воздушных проводов и кабельных жил. Еще через десять лет, в 1910 г., эти показатели достигли соответственно 10,4 миллиона и 38,5 млн. км.

Рассказ о телефонных кабелях начала текущего столетия был бы неполным без описания эволюции свинцовой оболочки, призванной предохранять сердечник кабеля от воздействия влаги и химических агентов, внешних электромагнитных полей, создаваемых воздушными линиями электропередачи, радиостанциями, грозовыми разрядами. К самой оболочке предъявляются требования гибкости, стойкости к многократным изгибам, растягивающим и сжимающим нагрузкам, вибрациям, возникающим как при транспортировке, так и в процессе эксплуатации кабелей, наконец, стойкости против коррозии.

Такие недостатки свинца как малые механическая прочность и стойкость к вибрациям старались компенсировать его легированием, то есть введением присадок из различных металлов. Исторически первым было олово, которое в количестве 1 — 3% начали добавлять к свинцу еще в 1880-е годы. В 1900 г. было предложено вводить в свинец 0,5% сурьмы, а в 1912 г. — увеличить присадку сурьмы до 0,8 — 1,2%, что, во-первых, стоило дешевле, чем широко применявшаяся до этого 3%-ная добавка олова, и, во-вторых, обеспечивало лучшие механические и технологические свойства сплава.

Затем последовали разработки различных двойных и тройных комбинаций легирующих добавок, например, кадмия с оловом и (или) сурьмой, висмута с магнием, с оловом, с кадмием или с сурьмой. В дальнейшем начали применять теллур, медь, мышьяк.



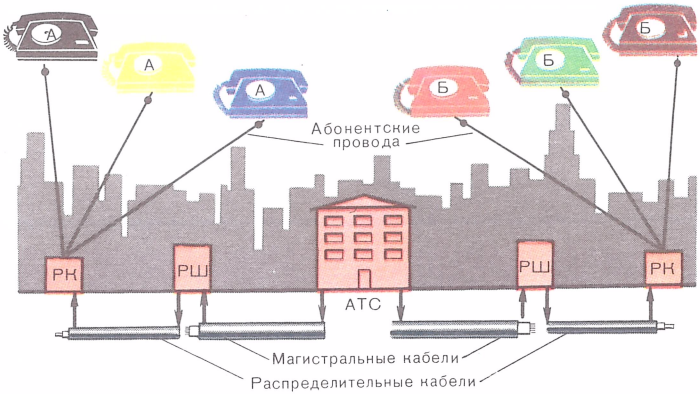
Глава 6 КАБЕЛИ В ГОРОДЕ: ПРОБЛЕМЫ... ПРОБЛЕМЫ... ПРОБЛЕМЫ...

СКОЛЬКО НАДО КАБЕЛЕЙ?

Вы решили позвонить другу. Подняли с аппарата телефонную трубку (ее более точное и, естественно, более скучное название, которым в обиходе никто не пользуется, — микротелефонная, причем не в смысле миниатюрности, а потому, что в ней помещаются и микрофонный, и телефонный капсюли). Непрерывный гудок известил вас о подключении к телефонной станции. Какие манипуляции надлежит произвести дальше и как разговаривать по телефону, знают теперь дошколята. Как не надо при этом действовать, популярно рассказал Б. Волгин в книге "Помогите телефону". Но далеко не все, даже взрослые, представляют, какой путь и по каким кабелям пробегают электрические сигналы, переносящие в обоих направлениях речь собеседников.

Трубка соединена с аппаратом так называемым микротелефонным, преимущественно спиральным гибким трехжильным шнуром (шнур — это тоже провод, но повышенной гибкости). От телефонного аппарата к укрепленной на стене розетке тянется розеточный также гибкий двухжильный шнур в тонкой поливинилхлоридной оболочке длиной в несколько метров.

От розетки берет начало абонентская линия (*АЛ*). Плоский двухжильный провод идет от розетки к входной



Провода и кабели, применяемые для соединения абонентов одной АТС

двери и далее на лестничную клетку, где включается в небольшую 10-парную распределительную коробку (*РК*), прикрепленную к стене или утопленную в закрытой нише. Внутри закрытого металлического корпуса распределительной коробки расположена пластмассовая корытообразная деталь — плинт с 10 парами медных контактов на лицевой стороне, каждая пара которых заканчивается соответствующей парой контактов — штифтов на тыльной стороне.

К распределительной коробке, следовательно, может быть подведено до 10 абонентских проводов от 10 телефонных аппаратов. Так, в 16-этажном 110-квартирном доме установлено 11 распределительных коробок — по две коробки на три этажа.

От распределительных коробок отходят уже не провода, а 10-парные кабели. Они проходят по стенам зданий или по стоякам, встроенным в толщу стен, вниз к стоящему в подъезде распределительному шкафу (*РШ*). По

пути 10-парные кабели объединяются в кабель с бо́льшим числом пар, но не более 100.

Довольно плоские, высотой около 2 м, окрашенные обычно в серый цвет распределительные шкафы незаметно расположены преимущественно в подъездах зданий, реже снаружи у стен домов. Иногда, проходя по улице, вы видите распределительный шкаф открытым, а около него монтера с телефонной трубкой или измерительным прибором. А в шкафу полным-полно проводов, протянутых между верхними и нижними боксами. Боксы — это открытые металлические коробки с набором чаще всего в 10 плинтов. В нижние и верхние боксы обычно включены распределительные кабели, приходящие в шкаф от коробок, а в средние — кабели, идущие от шкафа к автоматической телефонной станции (АТС). Эти последние называются магистральными.

От телефонной станции, а ее стандартная емкость обычно 10000 номеров, отходят в нескольких направлениях магистральные кабели с большим числом пар — от ста (100Х2) до двух-трех тысяч (2000Х2 — 3000Х2). По трассе крупнопарные магистральные кабели разветвляются на более мелкие, с числом пар, кратным 100, которые и заводятся в распределительные шкафы.

Телефонные сети небольших городов с числом абонентов менее 10000 имеют обычно одну городскую телефонную станцию, которая, как правило, размещается в одном здании с междугородной телефонной станцией. Нумерация телефонов — четырехзначная. Практически ее достаточно для 8Х1000 = 8000 абонентов, так как первая цифра "8" используется для выхода на автоматическую междугородную телефонную станцию (АМТС), а первая цифра "0" — для образования сокращенных двухзначных номеров различных специальных служб, например милиции "02", скорой помощи "03", справочной "09".

На рисунке условно (не в масштабе) показана схема соединения абонентов одной АТС.

В городах с числом абонентов от 8000 до 80000 строится несколько районных АТС (РАТС). Все они соединены между собой по принципу "каждая" с "каждой" кабельными линиями межстанционной связи, или, как их принято называть, соединительными линиями (*СЛ*). В таких городах нумерация телефонов пятизначная. Каждая РАТС связана самостоятельной линией с междугородной телефонной станцией.

На крупных сетях с числом абонентов свыше 80000 группы РАТС по территориальному признаку объединяются в узловые районы по 100000 телефонов в каждом с одной узловой станцией (узлом). Соединение РАТС из разных узловых районов происходит через узловые станции. На сетях, где число абонентов 80000 — 800000, нумерация телефонов шестизначная, а при 800000—8000000 — семизначная, как, например, в Москве и Ленинграде. В последнем случае первая набираемая цифра указывает на соответствующую территориальную миллионную зону, вторая — на номер стотысячного узла в данной миллионной зоне, третья — на порядковый номер РАТС данного узла, последние четыре цифры — это и есть собственно номер телефона, принадлежащего данной РАТС.

Подземные кабели межстанционных и абонентских линий затягивают в трубы телефонной канализации. Трубы эти бетонные, асбоцементные, керамические, пластмассовые с диаметром канала 100 мм. Для свободного протягивания через канал наружный диаметр кабеля не должен превышать 80 мм. В пригородах кабели прокладывают непосредственно в земле, в траншее глубиной не менее 0,7 м.

В столице нашей родины Москве общее число телефонов превысило три миллиона. По абсолютному количест-

ву телефонов Москва занимает пятое место в мире. В ней свыше 300 РАТС, объединенных в 30 узловых районов, распределенных по шести (пока) миллионным зонам. Все РАТС размещены в типовых зданиях, не слишком радующих глаз своей архитектурой. К числу приятных исключений относится, на наш взгляд, старейшая станция по улице Мархлевского, дом № 5, построенная в 1904—1914 гг. Вот что написано в журнале "Нива" за 1914 год: "Новая телефонная станция — одно из грандиозных сооружений Москвы — является последним словом техники строительного искусства". Хорошо бы прочитать нечто подобное в "Вечерней Москве" об одной из очередных построенных АТС.

Последим какой путь пройдет электрический ток при разговоре, например, абонента 239-75-76 с абонентом 472-01-60. Пройдя от телефонного аппарата № 75—76 по абонентскому проводу, распределительному и магистральному кабелям к своей девятой РАТС третьего узлового района второй миллионной зоны, ток далее пойдет по кабелю соединительной линии к узлу 23, от него также по соединительной линии к узлу 47 (то есть седьмому стотысячному узлу четвертой миллионной зоны), затем далее снова по СЛ ко второй РАТС этого узла и, наконец, по магистральному и распределительному кабелям и абонентскому проводу к телефонному аппарату № 01—60.

Автору знакомы две приятельницы, живущие в одном доме на одном этаже. Их квартиры разделяет расстояние в 15 м. Волей случая их телефоны принадлежат к разным РАТС с двумя соседними номерами 207 и 208. Идя в ногу со временем, они часто предпочитают телефонную связь личному общению. При этом ток, несущий звуки их речи, проходит путь немногим меньше только что описанного, да и то потому, что обе РАТС относятся, естественно, к одному узлу.

Согласно приближенным статистическим данным, чтобы обеспечить телефонной связью 1000 абонентов городской телефонной сети, необходимо проложить на абонентских и соединительных линиях 2000—4000 км двухпроводных кабельных цепей, или пар. Удобнее оперировать длиной не цепей, а кабеля, содержащего 50 пар, что условно записывается 50Х2. Такая операция называется приведением к 50-парному кабелю. Исходя из средней цифры 3000 пар, получаем, что на каждую 1000 установленных телефонов требуется 60 км условного кабеля 50Х2.

В действительности это будет набор кабелей с различным числом пар. В первую очередь, многопарных, например 1000-парного (1000Х2) и 500-парного (500Х2), каждый километр которых равняется по суммарной длине содержащихся в нем пар соответственно 20 и 10 км кабеля 50Х2. В комплект войдут обязательно и малопарные распределительные кабели, например 20Х2 и 10Х2, километр которых соответствует лишь 0,4 и 0,2 км кабеля 50Х2. Так как в пересчете на длину пар удельный вес кабелей многопарных значительно больше, чем малопарных, то фактическая длина проложенных кабелей в два-три раза меньше приведенной длины кабеля 50Х2.

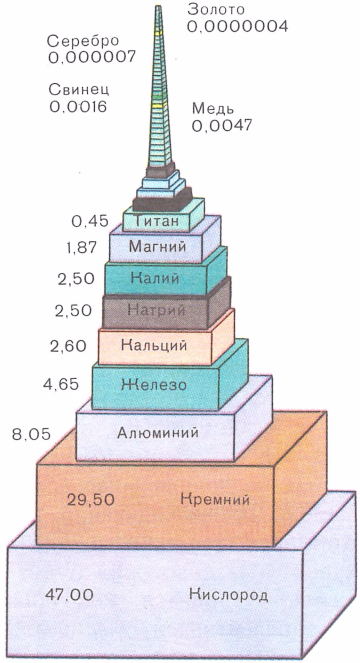
Во второй половине 1980-х годов ежегодный прирост числа телефонов в мире составит 35—45 миллионов. Значит, в ближайшие годы должно изготавливаться примерно по 2,1 — 2,7 млн. км городских телефонных кабелей в приведенном к 50 Х 2 исчислении.

Городские телефонные кабели — старейшие среди современных кабелей связи — первые достигли столетнего юбилея. Тем не менее проблем по части их конструирования и производства, как ни парадоксально, становится с каждым годом не меньше, а больше. Остановимся на нескольких.

ПРОБЛЕМА ПЕРВАЯ — ИЗ ЧЕГО ДЕЛАТЬ ЖИЛЫ?

Конечно из меди, не из серебра же, подразумевается незамедлительный ответ. Да, так и делают, причем сто с лишним лет. Но медь — металл, не очень распространенный в природе, дефицитный. А требуется ее для изготовления городских телефонных кабелей немало, причем потребность все возрастает.

Масса медной проволоки, расходуемой на токопроводящие жилы, зависит от их диаметра. В отечественной



Содержание основных химических элементов в земной коре (в % по массе)

практике это 0,32—0,7 мм, за рубежом, кроме того, 0,8 и 0,9 мм. Возьмем наиболее "ходовой" из них — 0,5 мм. Масса медных токопроводящих жил кабеля 50Х2Х0,5 равна 185 кг/км, то есть 185 килограмм на 1 километр, а на 2 400 000 км (средняя цифра ожидаемого годового выпуска кабелей) потребуется около 450 000 т меди (почти полмиллиона тонн!) ежегодно — с неуклонным возрастанием количества. Расход огромный. Вот почему на протяжении многих лет ведутся поиски металла, который бы заменил в кабелях медь.

Кандидат номер один — алюминий. Кстати, первым, кому удалось получить металлический алюминий, был уже известный нам Эрстед. По электропроводности алюминий ($35 \cdot 10^6$ См/м) занимает четвертое место после серебра ($62{,}5 \cdot 10^6$), меди ($58 \cdot 10^6$) и золота ($44{,}5 \cdot 10^6$), то есть в ряду промышленных металлов идет непосредственно вслед за медью. В природе его в 1700 раз больше чем меди. "Крылатый металл" в три с лишним раза легче меди: его плотность 2,7, а меди — 8,9. При замене медных жил алюминиевыми уменьшалась бы масса кабеля. Казалось бы, зачем дело стало, если бы не. . . Весьма весомыми оказались эти "не" алюминия по сравнению с медью.

Если заменить медные жилы алюминиевыми такого же диаметра, возрастут в 1,65 раза электрическое сопротивление цепи R и, следовательно, в $\sqrt{1{,}65} \approx 1{,}28 \approx 1{,}3$ раза ее коэффициент затухания α. Чтобы компенсировать в 1,65 раза меньшую удельную электрическую проводимость алюминия σ, приходится в 1,3 раза увеличивать диаметр токопроводящих жил d_0. Тогда сопротивления алюминиевых и медных жил будут одинаковыми. Алюминиевые жилы становятся, как принято говорить, электрически эквивалентными медным. В результате увеличится наружный диаметр кабеля, что явно нежелательно из-за ограниченного диаметра канала трубопро-

вода, возрастет расход изоляционного и защитных материалов.

Алюминий значительно уступает меди по механическим свойствам: разрывной прочности, пластичности, стойкости к многократным изгибам. Прочность на разрыв мягких алюминиевых проволок втрое, а относительное удлинение вдвое меньше, чем мягких медных. Алюминиевые жилы выдерживают в 4—5 раз меньше изгибов, Из-за этих недостатков кабели с алюминиевыми жилами труднее изготавливать, в частности скручивать, прокладывать — затягивать в канализацию и монтировать, то есть соединять между собой (сращивать) строительные длины.

Но, пожалуй, самый большой недостаток алюминия — сильная подверженность коррозии, особенно в присутствии влаги, которая может попасть в кабель при повреждении оболочки или муфт. В этом случае алюминиевые жилы за сравнительно короткий срок частично или полностью разрушаются.

На протяжении нескольких десятилетий ученые и инженеры в разных странах изыскивают способы уменьшения недостатков алюминиевых жил. Одним из способов является применение не чистого алюминия, а сплава на его основе. К алюминию добавляют примерно по 0,5% железа, магния, кремния, иногда дополнительно еще меньшие количества меди, цинка, марганца. По своим механическим свойствам такие сплавы занимают промежуточное место между медью и алюминием, а по электрическим, естественно, близки к алюминию. Но от коррозии сплавы также не защищены.

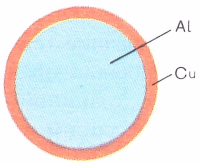
В последние годы привлекла к себе внимание так называемая алюмомедная проволока. Это — алюминиевая проволока, покрытая тонким медным слоем толщиной всего 10—30 микрометров (0,01—0,03 мм). По своим свойствам биметаллическая проволока стоит даже несколько ближе к меди, чем алюминиевый сплав, однако изготовить

ее значительно труднее. При незначительных дефектах столь тонкого медного покрытия, которое по идее должно защищать алюминиевую проволоку от коррозии, в присутствии влаги она корродирует даже еще сильнее, чем обычная алюминиевая.

Так как в объеме или в сечении алюмомедной жилы меди всего 10—15%, то диаметр алюмомедных жил также превышает диаметр электрически эквивалентных медных (примерно на 23%).

Предложен оригинальный способ конструирования алюминиевых и алюмомедных жил, позволяющий уменьшить степень возрастания их диаметра. Зададим себе вопрос: а почему алюминиевые жилы должны быть эквивалентны медным по сопротивлению? Ведь качество телефонной передачи определяется коэффициентом затухания цепи, а последний зависит в основном от произведения двух параметров цепи R и C (в пренебрежении L и G на тональных частотах): $\alpha = \sqrt{\omega CR/2}$. Следовательно, чтобы при переходе с медных жил на алюминиевые или алюмомедные сохранилось неизменным значение α, можно варьировать оба параметра, в частности уменьшить R по сравнению с эквивалентным и соответственно увеличить C — электрическую емкость, которая определяет толщину изоляции (чем больше допускается емкость, тем изоляция может быть тоньше).

Так как R зависит от диаметра токопроводящей жилы d_0, а C — и от d_0 и от диаметра изолированной жилы d_1, то можно связать эти конструктивные и электрические параметры между собой и выразить d_1 в функции d_0, C, R, α, затем найти первую частную производную $\partial(d_1)/\partial(d_0)$ и, приравняв ее нулю, определить, при каком d_0 обеспечивается минимальный d_1. Расчеты и ана-



Алюмомедная проволока

лиз, выполненные с учетом современных технологических возможностей утоньчения изоляции, показали, что можно без ухудшения электрических свойств сконструировать кабель с алюминиевыми жилами, диаметр которого будет не на 28—30%, а лишь на 11—16% больше, чем эквивалентного по затуханию кабеля с медными жилами. Расчеты и анализ, выполненные с учетом современных технологических возможностей утоньчения изоляции, показали, что можно, оставляя неизменным произведение *CR*, сконструировать кабель с алюминиевыми жилами, диаметр которого будет лишь незначительно больше, чем эквивалентного по затуханию кабеля с медными жилами. Например, медной жиле диаметром 0,5 мм с изоляцией толщиной 0,25 мм (диаметр изолированной жилы 1,0 мм) электрически эквивалентна алюминиевая жила диаметром 0,64 мм с изоляцией толщиной 0,32 мм (диаметр изолированной жилы 1,28 мм). Если же увеличить диаметр алюминиевой жилы до 0,75 мм и при этом уменьшить толщину изоляции до 0,18 мм, то диаметр изолированной жилы окажется всего 1,11 мм. (Пример не шаблонного подхода к решению задачи.) Поиски заменителя медных жил продолжаются, в них не поздно включиться читателям.

Однажды в НИИ, где работал автор, пришло письмо от учащегося иногороднего ПТУ. Серьезный, вдумчивый шестнадцатилетний паренек писал, что озабочен проблемой экономии цветных металлов в стране, что досадно, когда ежегодно столько меди зарывается в землю, где используется неэффективно (кстати, об этой пресловутой неэффективности любят посудачить и более взрослые и серьезные люди; правда, никто не вспоминает о ней, когда срочно требуется позвонить, например, заказать такси, узнать время прибытия поезда или, не дай бог, вызвать скорую помощь), и что он предлагает вместо металлических жил в кабелях использовать воду, которая, как известно, проводит электрический ток. Жилами в этом

случае служили бы тонкие резиновые или пластмассовые трубки, наполненные водой. Качественно идея базировалась на солидном фундаменте, но вот количественную ее сторону юный рационализатор не учел. Упустил из виду, что удельная электрическая проводимость "самой электропроводящей" морской воды σ = 4 См/м почти в 15 миллионов раз меньше, чем меди, у которой $\sigma = 58 \cdot 10^6$ См/м. Чтобы "водяная" жила оказалась электрически эквивалентной медной, пришлось бы во столько же раз увеличить ее сечение или почти в 4000 раз диаметр. Значит, вместо медной жилы диаметром 0,5 мм понадобилась бы жила диаметром в 2 м. Значит, тоненький 10-парный распределительный кабель, который мы чаще всего и не замечаем на лестничной клетке, увеличился бы до размеров трехэтажного дома. А уж диаметр 1000-парного кабеля доходил бы до трети высоты Останкинской телебашни.

ПРОБЛЕМА ВТОРАЯ — КАКУЮ ИЗОЛЯЦИЮ ПРЕДПОЧЕСТЬ?

Изоляция в виде полой трубки, накладываемой путем спиральной обмотки жилы бумажной лентой, так называемая трубчато-бумажная, монопольно господствовала свыше трех десятилетий. По мере совершенствования производства и роста выпуска кабелей стремление инженеров повысить производительность изолировочных машин путем увеличения частоты вращения бумагообмотчика сдерживалось возрастающей при этом обрывностью узких лент из телефонной бумаги, толщина которой всего 0,05 мм. Бумага, как известно, изготавливается из целлюлозы, сырьем для которой служит древесина, преимущественно хвойных пород. С бумажных комбинатов телефонная бумага поступает на кабельные заводы в рулонах шириной 500—700 мм и диаметром 600 мм. Посредством вращающихся дисковых ножей полотно бумаги разрезается на ленты шириной 5—8 мм. Ролики лент уста-

навливаются на диски бумагообмотчиков изолировочных машин. А если не делать из целлюлозы бумагу, потом ее разрезать и обматывать ею жилу, а накладывать изоляцию на жилу непосредственно из целлюлозы — таким вопросом задалась в начале 20-х годов текущего столетия группа инженеров американской фирмы "Вестерн Электрик", входящей в концерн "Белл систем". В один день, 25 января 1927 г. было выдано шесть патентов США (в частности, за номерами 1615381, 1615390 и так далее) шести авторам на способ изолирования жил целлюлозной массой и на устройство машины и ее основных узлов для этой цели. Среди шести изобретателей были ставшие впоследствии известными по своим публикациям Джон Литл и Говард Уокер. Промышленный выпуск кабелей с так называемой бумаго-массной изоляцией начался в 1928 г. Через три года появились первые журнальные публикации о новом технологическом процессе.

Второй страной в мире, приступившей к внедрению "безбумажной" технологии изолирования, был Советский Союз. Инициаторы — три молодых инженера-новатора старейшего кабельного завода "Севкабель" Ефим Клибанов, впоследствии лауреат Государственной премии, Дионисий Тер-Мкртичан и Николай Куклин — имели в своем распоряжении кроме желания и творческого энтузиазма немногое: представление об американской идее да весьма краткую, поверхностную, похожую больше на рекламное описание статью Уокера с тремя-четырьмя маловыразительными фотографиями. Капиталистические фирмы давно научились подавать информацию о технологических новинках так, чтобы из нее практически почти ничего нельзя было узнать.

Душой творческой группы был Е. Ф. Клибанов (1897—1952). Придя на "Севкабель" в 1925 г., он за 13 лет прошел путь от техника до главного инженера завода, попутно закончив Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина). В течение одиннадцати

последних лет жизни с 1941 по 1952 г. был главным инженером Главного управления кабельной промышленности в Наркомате электропромышленности.

Поначалу дело шло туго. Был разгар лета 1933 г. Николай Куклин получил премию за одно рационализаторское предложение и пригласил товарищей по работе отметить это скромное событие в небольшом кафе на Наличной улице. Выбрали столик у окна, откуда хорошо был виден Финский залив. В ожидании официантки только и разговоров было о новой машине, о бесчисленных неполадках в ней и приближающихся по обязательствам сроках ее сдачи. Особенно беспокоил всех самый неподдающийся узел, в котором уже наложенной на жилу изоляции должна быть придана цилиндрическая форма. Наконец, подошла официантка и откупорила бутылку мадеры. Машинально глядя, как она ловко ввертывает в пробку штопор, весельчак Куклин поперхнулся на полуслове. "Братцы, — вымолвил он, — да ведь это именно то, что мы ищем. Если пропустить жилу внутри штопора и быстро вращать его, он будет оглаживать изоляцию".

Друзья посмеялись и посоветовали использовать штопор по его прямому назначению. Однако на следующий же день Куклин отнес сделанный им чертеж в механический цех и вскоре винтообразная вращающаяся с частотой 3000—6000 об/мин гладилка, окончательно формирующая бумаго-массную изоляцию, успешно заработала.

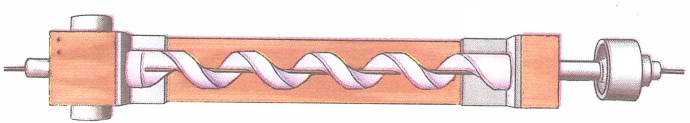
Еще один пример внешней случайности, сыгравшей роль детонатора во внутренней цепи непрерывных исканий. Повторилась хрестоматийная эффектная ситуация парижского кафе 1876 г., когда великий русский изобретатель Павел Николаевич Яблочков также в ожидании гарсона в раздумье вынул из кармана два длинных карандаша и случайно расположил их на столике параллельно. В этот момент мелькнула долгожданная мысль: "А если расположить угли дуговой лампы именно таким обра-

зом?..." Так, по мнению некоторых авторов, родилась идея "электрической свечи", на которую 23 марта 1876 г. П. Н. Яблочков получил французский патент.

Но почему-то при этом забывают сказать, что в 1869 г. он окончил девятимесячные офицерские гальванические (то есть электротехнические) классы, или, по-современному, курсы. Что в течение нескольких лет занимался теоретической и практической электротехникой в составе Постоянной комиссии при Отделе прикладной физики Политехнического музея, а также в организованной им мастерской физических приборов в Москве. Что он был автором нескольких изобретений и что, как написано в великолепной монографии о нем Л. Д. Белькинда, обладал серьезными для того времени знаниями в области электротехники и, в частности, осуществил в 1874 г. первый в мире опыт электрического освещения железнодорожных путей с паровоза.

И. Ньютона будто-бы однажды спросили, как ему удалось открыть закон всемирного тяготения. "Я думал об этом!" — был ответ. Оказывается, как "просто"!

Созданная Н. И. Куклиным (1897—1962) винтообразная гладилка, которую долгое время так и называли "гладилкой Куклина", успешно применяется в отечественной кабельной промышленности вот уже более пятидесяти лет и являет собой пример внушительного долголетия. К сожалению, Куклин — одаренный конструктор и автор нескольких изобретений — почему-то не оформил это свое детище авторской заявкой. Во всяком случае, обнаружить подобный документ не удалось. А через семь лет,

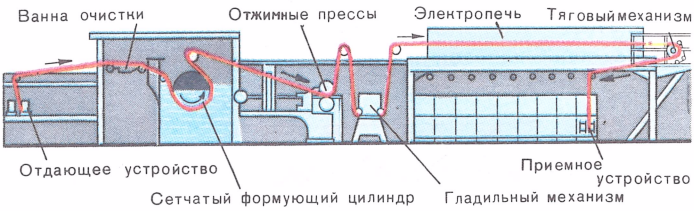


Винтообразная гладилка конструкции инженера Н. И. Куклина

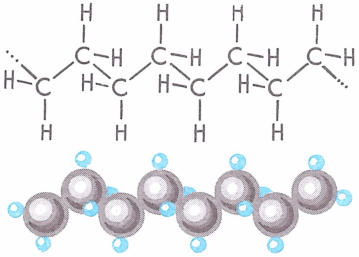
12 июня 1940 г. американский инженер Джон Селвиг подал заявку и 2 марта 1943 г. получил патент США № 2312448 на. . . неподвижную "винтообразную гладилку", то есть на упрощенную разновидность "гладилки Куклина".

В последние годы Николай Иванович Куклин работал в Москве и Одессе. Его творческая биография подобна одному из тех, по выражению Вл. Лидина "опавших листьев исторического дерева" — в данном случае дерева кабельной техники, — которое современники не позаботились, к сожалению, сохранить для истории.

Усилиями инженеров и рабочих в сравнительно короткий срок — к 16-й годовщине Великого Октября — советская бумаго-массная машина была собрана. Сначала маленькая — шестиходовая, затем на 14 ходов, на 28, на 40. Современные агрегаты состоят из 60 ходов. Медные проволоки сходят с катушек, установленных на отдающем устройстве, проходят через очистное устройство и поступают в ванну с вращающимся сетчатым цилиндром. В ванну непрерывно подается по трубе водная суспензия предварительно размолотой до размера волокон 1—2 мм и очищенной от примесей целлюлозы с концентрацией примерно 0,1 %. Непрерывно движущиеся проволоки огибают боковую сетчатую поверхность вращающегося цилиндра, и при этом на каждой из них оседает бесформенным слоем бумажная масса. Проволоки с налипшей на них



Бумаго-массная изолировочная машина



Строение молекулы полиэтилена

массой пропускаются через систему отжимных прессов, где из бумаго-массной изоляции удаляется значительное количество влаги. В гладильном механизме (''гладилке Куклина'') изоляции придается цилиндрическая форма. После ванночки с краской изолированные жилы направляются в электрическую печь проходного типа и затем посредством тяговых сукон подаются на приемное устройство. В первой зоне сушильной печи температура наивысшая: 650–800° С. Благодаря этому влага, содержащаяся в еще сырой изоляции, очень быстро нагревается, закипает и испаряется. При этом сплошной слой бумажной массы разрывается, и в изоляции образуется большое количество мельчайших пор, заполненных воздухом, который, как мы помним, весьма желателен, просто необходим для уменьшения электрической емкости кабелей.

Хронологически третьим, но, пожалуй, сегодня первым по значимости типом изоляции современных городских телефонных кабелей является сплошная полиэтиленовая. В 1884 г. русский химик Г. Г. Густавсон полимеризовал непредельный углеводород этилен C_2H_4, получив густую жидкость наподобие смазочного масла. Лишь полстолетия спустя, к 1936 г. двум исследователям — английскому Е. Фосетту и советскому А. И. Динцесу — независимо друг от друга удалось получить твердые высокомолекуляр-

ные полимеры этилена. Промышленный выпуск полиэтилена начался в 1940-е годы. Но первый километр кабеля связи (подводного с изоляцией из смеси 1 : 1 полиэтилена с полиизобутиленом) был изготовлен в Англии еще в 1939 г.

Благодаря редкому сочетанию отличных электроизоляционных, физико-механических и химических свойств полиэтилен получил в кабельной технике едва ли не самое широкое распространение из всех пластмасс. Начало его массового применения в качестве изоляции городских телефонных кабелей относится к середине 50-х годов текущего столетия. Монополия бумажной изоляции пошатнулась. Внедрение полиэтиленовой изоляции ознаменовало новую эпоху в развитии кабелей связи, да и не только связи.

Главным среди многих преимуществ полиэтиленовой изоляции перед трубчато-бумажной и бумаго-массной является ее негигроскопичность. Полиэтилен не поглощает влагу. Бумажная же изоляция кабеля впитывает влагу буквально как фитиль. Поэтому ее всегда приходилось, да и по-прежнему приходится защищать влагонепроницаемой металлической оболочкой. До 1950-х годов единственным типом оболочки была свинцовая, но свинца в природе еще меньше, чем меди, а расходуется его на кабели различного диаметра в 1,5—4 раза больше (например, на кабель 50Х2Х0,5 — около 700 кг/км).

Применение не боящейся увлажнения полиэтиленовой изоляции позволило отказаться от обязательной свинцовой оболочки и заменить ее пластмассовой, также полиэтиленовой. Вот почему в настоящее время больше половины городских телефонных кабелей во всем мире выпускается в так называемом "пластмассовом исполнении", а именно с полиэтиленовой изоляцией жил и в полиэтиленовой оболочке.

Говорят, что полного счастья не бывает. Выше подчеркивалось основное достоинство трубчато-бумажной и бу-

маго-массной изоляции — наличие в их составе воздуха. Отсюда и обобщенный термин — воздушно-бумажная. Эквивалентная диэлектрическая проницаемость воздушно-бумажной изоляции $\epsilon_{r\ эк} = 1{,}5 \div 1{,}7$. У сплошной полиэтиленовой изоляции этот показатель, увы, выше: 1,9—2,1. (Сам полиэтилен имеет $\epsilon_{r\ пэ} = 2{,}2—2{,}3$, но эквивалентное значение для изоляции снижается благодаря воздуху, находящемуся в пространстве между жилами скрученного сердечника, в так называемом свободном объеме кабеля.) В результате — увеличение рабочей емкости сплошной полиэтиленовой изоляции по сравнению с воздушно-бумажной и, следовательно, коэффициента ослабления кабелей. Чтобы сохранить рабочую емкость неизменной, приходится несколько увеличивать толщину изоляции и, значит, диаметр кабелей.

Противоречие разрешила пористая полиэтиленовая изоляция. Если в полиэтилен в процессе его наложения на жилу посредством выдавливания на червячных процессах — экструдерах добавить гранулы пенообразующих веществ — порофоров, то при нагревании изоляции в головке экструдера, где температура 200—230° С, порофоры разлагаются с выделением летучих составляющих. В изоляции образуются не сообщающиеся между собой поры размером 20—100 мкм. Как тут не вспомнить о получении и применении пористого парафинового заполнения в кабелях 1870-х и 1880-х гг.

Благодаря воздуху в своем составе пористая полиэтиленовая изоляция сравнялась по электрическим и конструктивным параметрам с воздушно-бумажной, но. . . Далеко не все нововведения "могли бы похвастаться" (конечно, будь они одушевленными предметами) отсутствием всяких "но". Пока что развитие изоляции современных городских телефонных кабелей следует пословице "Нос вытащишь — хвост увязнет" или похоже на сказку о репке, которую последовательно тянут дедка, бабка, внучка, Жучка, кошка и, наконец, мышка.

Три "но" пористой полиэтиленовой изоляции сравнительно со сплошной следующие: большая влагопоглощаемость, которая может привести к потере электроизоляционных свойств, меньшая электрическая прочность, меньшая механическая прочность. Если за репку посчитать воздушно-бумажную изоляцию, то в роли дедки выступила сплошная полиэтиленовая, а в роли бабки пористая. Миссию внучки, то есть защиты пористой полиэтиленовой изоляции от стремящейся проникнуть внутрь кабеля влаги, взяло на себя гидрофобное заполнение.

В 1964 г. английский инженер Георг Додд предложил заполнять свободный объем кабелей, на долю которого приходится около 40% общего объема сердечника, вязким компаундом на основе продуктов перегонки нефти — петролатумом, или "нефтяным желе" из смеси микрокристаллических нефтяных парафинов и масел. Первый патент был выдан Додду 16 июня 1965 г. Не часто новое предложение технический мир встречает с таким единодушным одобрением, с каким была встречена идея заполнения кабелей. В обиходе быстро распространились термины: "заполненные", "полностью заполненные", "водостойкие", "герметизированные" кабели.

Казалось бы, все наконец стало на свои места, но. . . Опыт эксплуатации герметизированных кабелей показал, что заполнитель — петролатум действительно не пускает коварную влагу в кабель, но сам-то он не прочь непосредственно пообщаться с пористой изоляцией, проникнуть насколько возможно в ее поры. Подобное взаимодействие приводит к тому, что свойства изоляции ухудшаются, она преждевременно старится. Что же делать? Пришла очередь включиться в общую цепь Жучке.

В начале 1970-х годов канадские специалисты предложили комбинированную пористо-сплошную полиэтиленовую изоляцию. Внутренний пористый слой, на долю которого приходится 80% всей толщины изоляции, обеспе-

чивает ее достаточно низкую диэлектрическую проницаемость. Внешний тонкий сплошной слой служит преградой, препятствующей контакту между заполнителем и внутренним пористым слоем. Конструктивная часть проблемы, таким образом, решена. Но нельзя забывать о технологической ее части.

На одном из заседаний научно-технического совета специалист-эксплуатационник в запальчивости воскликнул: "Нетехнологичных конструкций не бывает!" В ответ раздался дружный смех производственников. Так мог сказать только человек, ни разу в жизни не приложивший рук к изготовлению хотя бы одного километра кабеля. Бывают идеально вычерченные на ватмане, с соблюдением всех пропорций, конструкции кабелей, которые очень неудобны в производстве, процесс изготовления их малопроизводителен, да и выглядят они в реальных условиях далеко не так гармонично, как в аксонометрии.

Соратники выдающегося советского авиаконструктора трижды Героя Социалистического Труда Сергея Владимировича Ильюшина вспоминают его наставления: "Прежде, чем сдать чертеж, посоветуйся с теми, кто будет превращать его в "железо". . . А сдав чертеж, не жди, когда тебя вызовут в цех, — сходи туда сам, посмотри на "железо". А посмотрев, потрогай его. А потрогав, еще и подергай. И если в чем-то промахнулся, не стесняйся в этом признаться".

Наложить двойную изоляцию, да еще с очень тонким внешним слоем, несомненно, сложнее, чем одинарную. Технически-то задача решена. Свою лепту за Жучкой внесла в общее дело кошка. Можно располагать два червячных пресса-экструдера последовательно, "в тандем", на первом из них накладывать пористый слой изоляции, а на втором — сплошной. Можно смонтировать один V-образный или Г-образный экструдер, в котором из двух

цилиндров две разные пластмассы — пористая и сплошная — поступают последовательно в одну общую прессовую головку, естественно, более сложной конфигурации, чем обычная. Резюме: можно, но более сложно.

Итак, имеется несколько разновидностей изоляции. Закончить параграф хотелось бы вопросом, который вынесен в его название: "Какую изоляцию предпочесть?"

ПРОБЛЕМА ТРЕТЬЯ — ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ

От выбранной изоляции во многом зависит тип оболочки кабеля, и, наоборот, конструкция оболочки решающим образом определяет тип изоляции. Что же первично, а что вторично? Какой-то заколдованный круг. Попробуем его расколдовать.

Попытки избавления от дефицитной свинцовой оболочки были предприняты в конце 1930-х и в 1940-е годы. В качестве заменителей свинца пробовали различные материалы, в частности одну из первых промышленных пластмасс — поливинилхлорид. Но пока изоляция жил оставалась воздушно-бумажной, ни одна из конструкций оболочек, даже многослойных, состоящих из чередующихся слоев поливинилхлоридных трубок, алюминиевых лент и проклеивающих компаундов, не могла предотвратить проникновение атмосферной влаги в кабель и, следовательно, защитить изоляцию от увлажнения.

Возможность применения невлагоемкой полиэтиленовой изоляции сразу облегчила решение задачи. В 1948 г. появились кабели в оболочке с несколько загадочным, хотя и звучным, названием "алпэт". Впрочем, расшифровывалось оно просто: "АЛюминий—ПолиЭТилен". Еще проще оказалась сама конструкция "алпэт". Прежде всего — это не единое целое. Одно название объединило два самостоятельных разнородных элемента кабеля: алюминиевый экран и просто полиэтиленовую экструдирован-

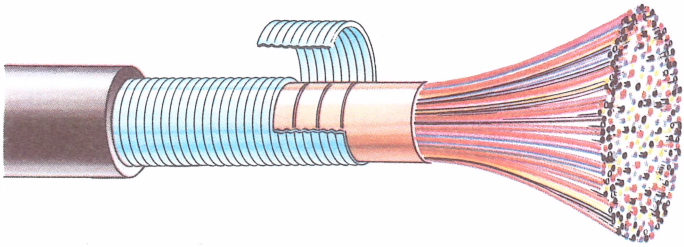
ную, то есть выпрессованную оболочку. Назначение экрана — защищать цепи связи от мешающего и даже порой опасного влияния внешних электромагнитных полей, возбуждаемых линиями электропередачи, контактной сетью электрифицированных на переменном токе железных дорог, мощными радиостанциями.

Сочетание полиэтиленовой оболочки с полиэтиленовой изоляцией (и обязательно с алюминиевым экраном) явилось основой классической современной конструкции городских телефонных кабелей. Поливинилхлоридную оболочку, а иногда и изоляцию применяют в кабелях, прокладываемых в пожароопасных местах, например в зданиях АТС. В отличие от полиэтилена, поливинилхлорид не распространяет горения.

Новым явилась не только пластмассовая оболочка, но и конструкция алюминиевого экрана, который накладывался не традиционным методом спиральной обмотки, а продольно. Алюминиевая лента толщиной 0,2 мм — гладкая в самых тонких кабелях и с мелкой поперечной гофрировкой во всех кабелях с диаметром сердечника свыше 15 мм — располагается по отношению к оси кабеля продольно и сворачивается вокруг движущегося сердечника так, что ее края взаимно перекрываются на 5—8 мм.

Несмотря на простоту как конструкции, так и технологии наложения, пластмассовые оболочки все же значительно уступают металлическим в главном — во влагозащитном действии. Через них проникают (научный термин "диффундируют") в кабель пары воды. Законы диффузии были установлены в 1855 г. профессором из Цюриха Адольфом Фиком (1829—1901).

Согласно законам Фика, если содержание и, следовательно, давление водяных паров во внешней среде — в воздухе или в земле, окажется больше, чем внутри кабеля (а такое большей частью имеет место потому, что кабели изготавливаются в закрытом сухом заводском



Городской телефонный кабель с полиэтиленовой изоляцией, продольным алюминиевым экраном в полиэтиленовой оболочке

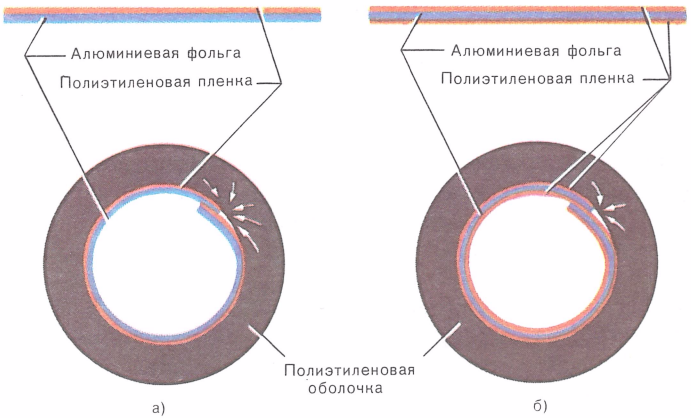
помещении), то они, эти пары, неизбежно будут стремиться пройти через оболочку из более влажной среды, то есть извне, в менее влажную — внутрь кабеля.

Скорость процесса диффузии паров влаги и, следовательно, масса их, проникшая внутрь кабеля, зависит от свойства материала оболочки, называемого влагопроницаемостью. Каждый материал характеризуется присущим ему коэффициентом влагопроницаемости. Металлы — практически непроницаемы для паров влаги. Их коэффициент влагопроницаемости крайне мал — в международной системе единиц СИ примерно 10^{-25} кг·м/(м^2·с·Па). Влагопроницаемость пластмасс в миллиарды раз больше. Коэффициент влагопроницаемости полиэтилена 10^{-16}, а поливинилхлорида 10^{-14} — 10^{-15}. Кстати, именно из-за меньшей влагопроницаемости полиэтиленовая оболочка для кабелей наружной прокладки предпочтительнее поливинилхлоридной.

К числу бесспорно изящных и остроумных инженерных решений относится так называемая металлопластмассовая, преимущественно алюмополиэтиленовая оболочка. В течение ряда лет она была широко известна под названием "барьер Гловера" — по имени изобретателя, английского инженера Д. В. Гловера, запатентовавшего

ее в 1961 г. Алюмополиэтиленовая оболочка представляет собой соединенные в одно целое полиэтиленовую оболочку и алюминиевый экран. Но для экрана берется в этом случае не просто алюминиевая лента, а покрытая с одной стороны или с обеих сторон тонким (0,02—0,03 мм) слоем полиэтилена. Экран с односторонним покрытием накладывается на сердечник так, чтобы полиэтиленовый слой был сверху. В головке экструдера, где поверх экрана выпрессовывается полиэтиленовая оболочка, при температуре 200—230°С оболочка и покрытие экрана свариваются между собой, в результате оболочка как бы металлизируется изнутри. Ее внутренний тонкий металлический слой служит барьером на пути паров влаги, пытающихся проникнуть через оболочку внутрь кабеля.

Конструкция оказалась вполне эффективной, при том весьма технологичной. Продольное наложение на сердечник кабеля экранной ленты и экструдирование поли-



Алюмополиэтиленовые оболочки с применением двухслойной (*а*) и трехслойной (*б*) экранных лент

Примерное сочетание типов изоляции и оболочки в городских телефонных кабелях

этиленовой оболочки совмещены в одном технологическом процессе. Для паров влаги, прошедших сквозь толщу полиэтилена и "упершихся" в алюминиевый барьер, остается единственный проход между перекрывающимися кромками экранной ленты. При одностороннем покрытии алюминия полимером скорость диффузии в среднем в 100 раз меньше, чем через обычную полиэтиленовую оболочку. Значительно более эффективно двухстороннее покрытие, так как полиэтиленовые пленки обеих кромок шва свариваются между собой и парам влаги приходится преодолевать узкий полиэтиленовый слой. Ско-

рость диффузии через такую оболочку замедляется в 15000 раз (!). Вот почему "барьер Гловера" распространился буквально во всех странах и, безусловно, является в настоящее время наиболее предпочтительной модификацией полиэтиленовой оболочки.

До сих пор рассматривалось сочетание пластмассовой или металлопластмассовой оболочки с полиэтиленовой (сплошной, пористой, пористо-сплошной) изоляцией. Сочетать подобную оболочку с воздушно-бумажной изоляцией все же рискованно, так как полностью застраховаться от диффузии влаги невозможно. Рискованно, но заманчиво. Инженерная мысль работает в этом направлении. А пока надежной влагозащитой гигроскопичной изоляции служит металлическая оболочка. Не обязательно свинцовая. Стальная, алюминиевая.

Развитие конструкций сердечника всегда шло по пути увеличения максимального числа пар и уменьшения диаметра токопроводящих жил.

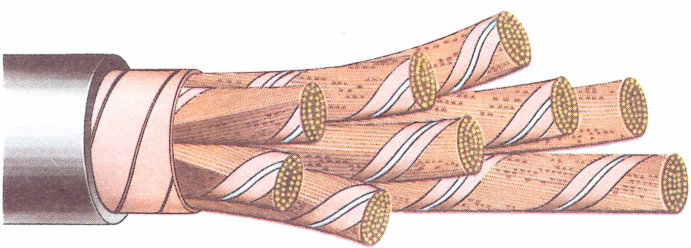
Таблица 7

Изменение конструкций сердечника городских телефонных кабелей в XX веке

Год	Максимальное число пар	Диаметр жил, мм	Система скрутки
1901	400	0,64	Повивная
1902	600	0,64	—"—
1910	900	0,64	—"—
1912	1200	0,50	—"—
1928	1800	0,40	Пучковая
1932	2400	0,40	—"—
1961	3600	0,32	—"—

Процесс скрутки сердечников современных кабелей — многоступенчатый. Сначала скручиваются так называемые элементарные пучки (ЭП) из 10 пар или 5 четверок. Число цепей в них соответствует емкости распределительных коробок. Распределительные кабели с числом пар 10—100 скручиваются из элементарных пучков. В кабелях для магистральных и соединительных линий с числом пар от 100 и выше элементарные пучки сначала скручиваются в главные (ГП), состоящие из 50 или 100 пар (соответственно 25 или 50 четверок). Затем главные пучки скручиваются по определенной системе в сердечник. Современные крутильные машины и технологические приемы позволяют осуществлять две или даже три последовательные операции скрутки одновременно, то есть совмещать их. При прокладке линии удобно отделять по направлению к распределительным шкафам необходимое количество 100-парных пучков.

Если обобщить основные проблемы совершенствования городских телефонных кабелей, то можно свести их к проблеме экономии материалов, в первую очередь дефицитных металлов — меди и свинца, а также полиэтилена. Проблема экономии является главной проблемой потому, что городские телефонные кабели — наиболее материалоемкие из-за своей "низкочастотности". Каждому абоненту выделяется одна физическая двухпроводная цепь —

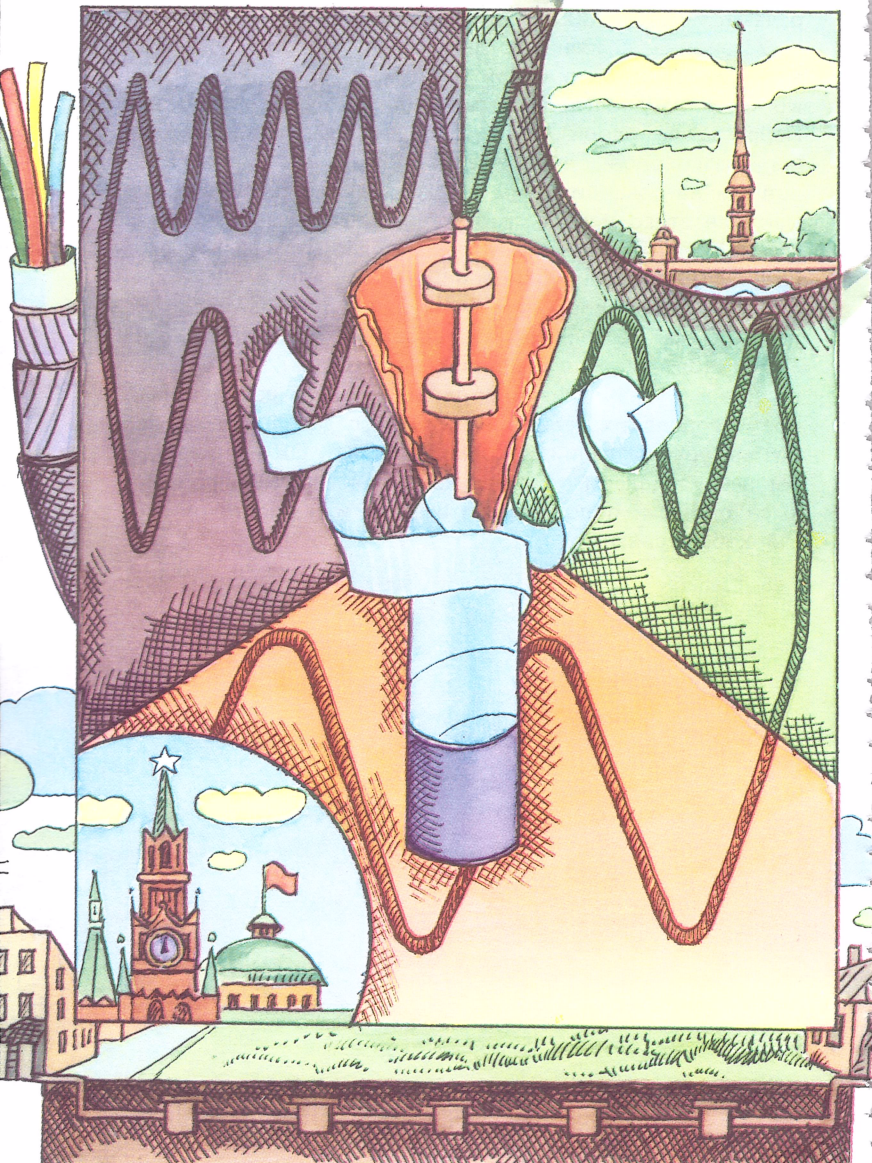


Городской телефонный кабель пучковой скрутки

одна пара в кабеле, по которой, как уже говорилось, передаются частоты 300—3400 Гц.

Установка спаренных телефонов, для обслуживания которых достаточно одной пары жил, практикуется редко из-за неудобств, испытываемых обоими абонентами. Передача по одной паре нескольких десятков телефонных разговоров одновременно применяется пока в основном на соединительных межстанционных линиях, так как для этого необходимо устанавливать на телефонных станциях специальную аппаратуру многоканальной передачи, представление о которой будет дано в следующей главе. На долю соединительных линий приходится не более 20% всей протяженности городских телефонных сетей.

Радикальное решение проблемы обещает принципиально новое направление в развитии кабелей связи, в частности городских телефонных. Это создание кабелей, аббревиатуры названий которых — ВОКС, ОКС — казались бы весьма далеки от кабельной техники. Расшифровываются они так: волоконно-оптические или просто оптические кабели связи.



Глава 7

СТРАНА "ЭЛЬ-ЭФ"

Не добрых духов — эльфов, а вполне реальных понятий: длины, обозначаемой латинской буквой l — эль, и частоты, обозначаемой буквой f — эф. Крупный советский инженер и ученый страстный мечтатель лауреат Государственной премии профессор Г. И. Бабат одну из своих книг назвал "Страна Пээф". Это была книга о практическом применении электричества в промышленности, о мощности P—пэ и частоте f — эф электроэнергетических установок. Вся история развития проводной электросвязи — не что иное, как стремление человечества к покорению страны "Эль-эф", к преодолению пространства и к максимальному использованию кабельных цепей.

БОРЬБА ЗА ДАЛЬНОСТЬ

Дальность связи по первому телефону Белла не превышала 100 м. Большой шаг по шкале дальности телефонирования l позволил сделать угольный микрофон, изобретенный английским физиком Дэвидом Юзом (1831—1900) в 1878 г. На Мюнхенской электротехнической выставке 1883 г. телефон получил следующую официальную экспертную оценку: "Пригоден для передачи звуков на расстояния до десяти километров". Освоить несколько большие протяженности трасс позволило изменение конструкций кабелей: увеличение диаметра токопроводящих жил и

создание воздушно-бумажной изоляции, обладающей малой электрической емкостью.

Несмотря на все усовершенствования, телефонные кабели до начала XX века не могли выйти за пределы городов или пригородов. Телефонная связь между городами осуществлялась по воздушным линиям с диаметром медных проводов 3—5 мм. В частности, в 1898 г. такая линия была сооружена между Петербургом и Москвой. В то время она была самой длинной телефонной линией в России и одной из самых длинных в Европе.

Перейти от городских телефонных кабелей к междугородным позволили теоретические исследования известного американского электротехника, серба по происхождению, профессора Михаила Пупина (1858—1935), практический результат которых вошел в историю кабельных линий связи под названием "пупинизация". Использовав открытие Хевисайда о возможности уменьшения потерь в линии путем искусственного увеличения ее индуктивности, то самое условие $RC = LG$, встреченное современниками с недоверием и не принятое всерьез, Пупин предложил включать в цепи кабеля специальные катушки индуктивности ("пупиновские катушки") и рассчитал оптимальное расстояние между ними ("шаг пупинизации"). Индуктивность линии благодаря этому могла быть повышена в десятки и сотни раз. В разных источни-

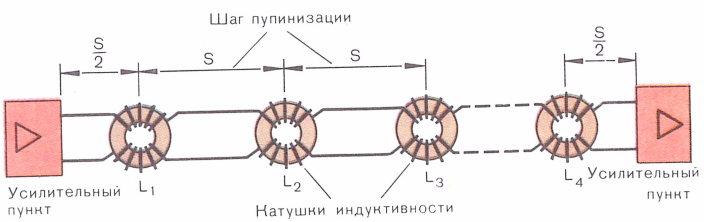


Схема включения катушек индуктивности в кабельную цепь

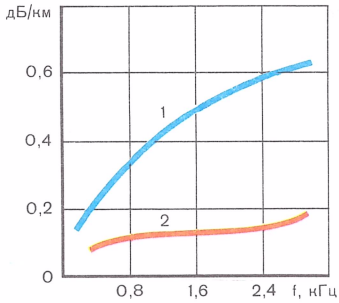
ках изобретение Пупина относили к 1900 или к 1901 г. В действительности свой первый американский патент он получил в 1899 г.

Успешной пупинизацией в 1902 г. линии Нью-Йорк—Ньюарк длиной 16 км, выполненной кабелем 200Х2Х Х0,9, был открыт путь сооружению междугородных кабельных магистралей. Благодаря пупинизации дальность связи стремительно возрастала. В 1903 г. она достигла 32 км, в 1904 г. — 70 км, а в 1906 г. — 145 км. Во всех случаях прокладывались кабели парной скрутки с жилами диаметром 1,3—1,6 мм.

Вскоре после изобретения Пупина датский инженер Карл Крарупп разработал другой оригинальный способ искусственного увеличения индуктивности кабелей. Вместо того чтобы через каждые 1,5—2 км включать в линию катушки индуктивности, он предложил обматывать токопроводящие медные жилы тонкой лентой или проволокой из стали, магнитные свойства которой в 100—200 раз сильнее, чем меди. А индуктивность, как известно, зависит от магнитной проницаемости μ. Толщина стальной ленты или диаметр проволоки были 0,2—0,3 мм.

Эффективность крарупизации в несколько раз меньше, чем пупинизации, так как стальная обмотка увеличивает индуктивность цепей лишь в 8—10 раз. Но крарупизированные кабели оказались более удобными для подводной прокладки. Прокладывать пупинизированную линию с судна в те годы еще не умели: диаметр пупиновских катушек был в несколько раз больше диаметра кабеля, в отличие от гибкого кабеля катушки имели жесткую конструкцию, при огибании кабелеукладочной машины в местах соединения катушек с кабелем происходили разрывы. Крарупизированный кабель имел постоянный диаметр и сохранял гибкость по всей длине.

Не раз приходилось автору принимать участие в кулуарных дискуссиях между научными работниками НИИ и



Характер частотной зависимости коэффициента затухания кабельной цепи:
1 — непупинизированной;
2 — пупинизированной

заводскими инженерами. Вопрос ставился несколько риторически: кто больше приносит реальной пользы обществу? Слово "реальной" сопровождалось восклицательным знаком. Реальная польза отождествлялась обычно с немедленным экономическим эффектом.

Те, кто противопоставляет сиюминутную выгоду практических результатов инженерного труда "безденежным" формулам и графикам, полученным в кабинетах и лабораториях ученых, следуют русской пословице "Лучше синицу в руки, чем журавль в небе". Но при этом они, как правило, не учитывают, что одно научное открытие порождает целый ряд инженерных решений. Сомневаюсь, возьмется ли кто-нибудь оценить в рублях, долларах, франках или марках эффективность условия Хевисайда, так же как и бинома Ньютона, уравнений Фика и тому подобного. Ньютон, Хевисайд и Фик удостаивались научных почестей, академических медалей. А вот эффективность пупинизации и крарупизации в денежном выражении можно оценить, и наверняка она была по достоинству оценена.

Тысячи проложенных в мире кабельных линий называют пупинизированными и крарупизированными. Но стали они такими благодаря тому, что "отвлеченный", непрак-

тичный математик Хевисайд додумался так преобразовать абстрактную формулу, что дифференцирование ее показало путь к увеличению дальности связи. Спустя десятилетия его "условие" продолжало питать инженерные разработки. В 1936 г. профессор Московского электротехнического института связи Иван Алексеевич Кощеев (1902—1965) предложил вместо крауповской обмотки накладывать на медную жилу тонкий слой железа электрическим путем. В 40-е и 50-е годы был проделан ряд опытов по изготовлению кабелей с биметаллическими жилами, возник даже термин "кощеевизация", но практического применения идея не нашла: к этому времени искусственное увеличение индуктивности цепей стало препятствием к освоению другой оси — "эф" системы координат "l —f".

В середине текущего века инженерам-кабельщикам пришлось изрядно поломать голову над тем, можно ли кабели в пластмассовой оболочке транспортировать, хранить и содержать в эксплуатации под избыточным давлением воздуха так, как поступают с кабелями в металлической оболочке. И тут взоры практиков-кабельщиков неожиданно обратились к физику-теоретику А. Фику, вернее, к его законам диффузии. Правильные инженерные решения и в этом случае были подсказаны, казалось бы, далекими от электротехники уравнениями почти столетней давности.

Наивность и упрощенчество чисто прагматического подхода к науке остроумно критиковал выдающийся советский физик П. Л. Капица. Он говорил: "Совершенно ясно, что только благодаря фундаментальным работам и открытиям Фарадея стали возможными такие совершенно новые виды орудий человеческой культуры, как динамо-машина, телефон и т.д. Но очевидно, что не следует требовать от фарадеев, чтобы они сами делали и телефон, и динамо-машину. . ."

Искусственное увеличение индуктивности — несомненно важный этап в развитии кабельных телефонных линий, но даже по пупинизированным линиям дальность связи была ограничена.

Таблица 8

Дальность связи по линиям

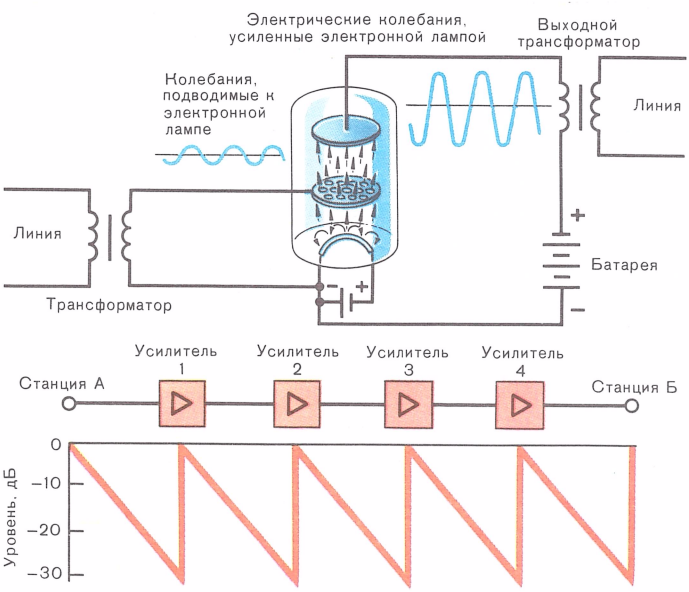
Тип линии	Диаметр медных проводов (жил), мм	Дальность телефонной связи, км	
		без пупинизации	с пупинизацией
Воздушная	4,0	500	1000
Кабельная	2,0	45	200
	1,3—1,4	30	130—140
	0,9	20	60—70

Радикальное решение проблемы дальности связи принесли усилители.

В 1904 г. английский физик и радиотехник Джон Флеминг изобрел первую электронную двухэлектродную лампу — диод. Накаленная током, пропускаемым от батареи, металлическая нить — катод — испускала электроны, которые устремлялись к положительно заряженной металлической пластинке — аноду. В лампе возникал электрический ток. В 1907 г. американский радиотехник Ли де Форест изобрел трехэлектродную лампу — триод, которую он назвал аудионом. В ней между катодом и анодом, ближе к катоду, была помещена также металлическая проволочная сетка. При отрицательном потенциале на сетке она частично задерживала (уменьшала) поток электронов, стремящихся к аноду, при положительном потенциале, наоборот, усиливала электронный поток и, следовательно, текущий через лампу так называемый анодный

ток. Эта способность управляющей сетки триода и была использована для создания промежуточных телефонных усилителей в линии связи.

На сетку подаются прошедшие уже часть длины линии и, следовательно, ослабленные (по мощности, напряжению и току) электрические сигналы телефонной передачи. Колебания напряжения в цепи сетки, соответствующие частотам передаваемых сигналов, вызовут подобные же, но значительно усиленные по величине (по амплитуде) колебания анодного тока. Благодаря этому дальше в



Трехэлектродная лампа в качестве усилителя передаваемых сигналов и примерная диаграмма их уровней вдоль кабельной магистрали

линию пойдут сигналы восстановленной мощности. Таким образом, если в линии через определенное расстояние устанавливать усилители (раньше они были ламповые, теперь полупроводниковые), то можно обеспечить необходимую дальность связи.

Мощность микрофона 1×10^{-3} Вт принята эталонной. Потери энергии при прохождении сигналов вдоль линии можно характеризовать не только ослаблением (затуханием), но и уровнем передачи. Уровень мощности в начале линии P_0 = 1 мВт = $1 \cdot 10^{-3}$ Вт считается нулевым. В точке линии l, где мощность ослабленного сигнала уменьшится до 1 мкВт = $1 \cdot 10^{-6}$ Вт уровень передачи снизится до $-10 \lg P_0/P_l = -30$ дБ. Пусть установленный в этом месте усилитель увеличивает мощность сигнала в 1000 раз. Тогда уровень передачи поднимается на 30 дБ и снова будет равен нулевому.

Таким образом осуществляется восстановление мощности ослабленных сигналов посредством промежуточных линейных усилителей при передаче телефонных разговоров между двумя оконечными пунктами. Расстояние между двумя смежными усилителями называется усилительным участком. Современные усилители в состоянии усиливать мощность передаваемых сигналов в 10^3—10^6 раз.

Практическое использование усилителей в линиях связи началось во второй декаде текущего века. В 1913—1914 гг. в США была сооружена первая междугородная кабельная магистраль длиной 730 км, в которой искусственно увеличенная индуктивность (пупинизация) цепей сочеталась с применением промежуточных усилителей. Комбинированный кабель имел конструкцию 7×4×2,6 + 18×4×1,8 + 6×2×1,8 + 18×2×1,3 — пары располагались между четверками.

В течение примерно 20 лет длины усилительных участков в зависимости от степени пупинизации магистралей составляли 70—150 км.

Большие заслуги в создании усилителей (поначалу они назывались телефонными трансляциями) и их внедрении в воздушные и кабельные линии принадлежат Валентину Ивановичу Коваленкову (1884—1960) — крупнейшему советскому специалисту в области проводной электросвязи, члену-корреспонденту АН СССР, генерал-майору инженерно-технической службы, лауреату Государственной премии СССР.

ВВЕРХ ПО ШКАЛЕ ЧАСТОТ

Кабели являются наиболее материалоемкой и дорогой частью сооружений связи. Поэтому понятно характерное для всей истории развития линий связи стремление к наиболее эффективному использованию каждой физической цепи. Первым проявлением этого еще в период телеграфных линий был отказ от второго провода цепи и замена его землей или водой.

В истории телеграфной связи известен ряд способов и схем передачи по одному проводу двух и более телеграмм при посылке импульсов постоянного тока. В 1881 г. капитан русской армии Григорий Григорьевич Игнатьев (1846—1898) предложил схему одновременного телефонирования и телеграфирования по одному проводу. Для разделения телеграфного и телефонного токов он включал в схему конденсаторы и катушки индуктивности — прообраз современных электрических фильтров.

Направление, начатое Игнатьевым, успешно развил и довел до практического применения другой русский изобретатель — Евгений Иванович Гвоздев (1847—1896), которому довелось осуществлять одновременное телефонирование и телеграфирование на расстояниях до 300 км.

В 1882 г. Франк Джекоб показал, что на каждых двух парах жил в кабеле можно получить кроме физических цепей еще одну — третью цепь путем использования спе-

циальных трансформаторов. Эта третья цепь была названа фантомной, то есть призрачной, так как самостоятельно она физически не существует: ее прямым проводом служат обе жилы первой пары, а обратным проводом — обе жилы второй пары. Современное название фантомных цепей — искусственные. Таким образом, можно было повысить эффективность использования кабельных цепей на 50 %.

Первые опыты по образованию в кабеле искусственных цепей были проделаны в 1889 г., когда уже был известен способ одновременной скрутки четырех изолированных жил в звездную четверку. В 1903 г. инженеры Вильям Дизельхорст и Артур Мартин предложили конструкцию и способ изготовления четверки, отличной от звездной. По их методу четыре жилы скручивались в две пары с различными шагами скрутки, а обе пары скручивались между собой в четверку. Были сконструированы машины, на которых скрутка обеих пар и четверки производилась одновременно. Такая четверка была названа по имени ее изобретателей четверкой ДМ. В настоящее время она именуется двойной — парной или сокращенно ДП.

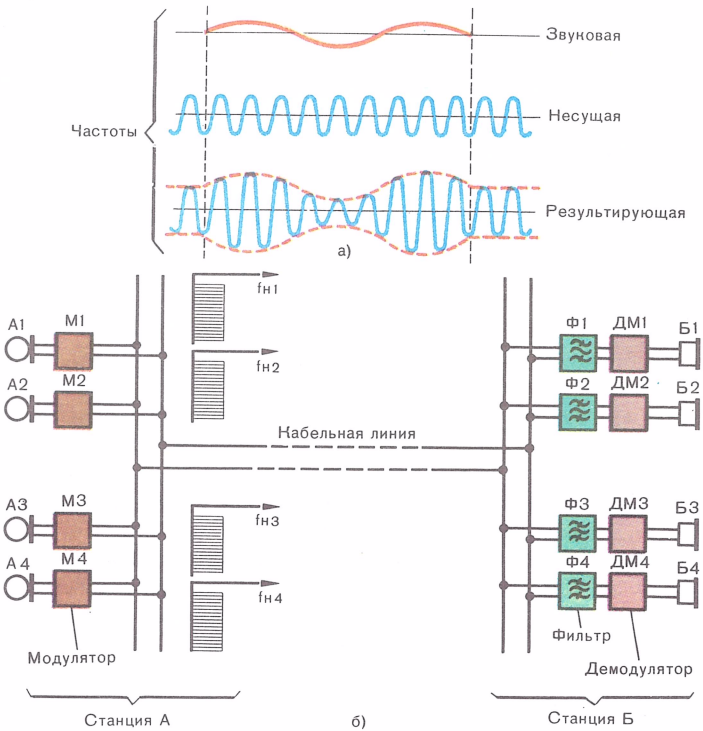
Чтобы практически образовать искусственные цепи в кабелях, пришлось для их пупинизации изготовить специальные катушки индуктивности. Использование искусственных цепей явилось преимуществом скрутки жил в четверку (звездную или двойную — парную) перед обычной парной скруткой и обусловило повсеместный переход на четверочную скрутку жил в кабелях дальней связи. Первый пупинизированный кабель из четверок ДМ был проложен в 1910 г. на линии длиной 10 км. Начиная с 1911 г. большинство междугородных кабельных магистралей проектировалось в расчете и на искусственные цепи.

Радикальное решение проблемы наиболее эффективного использования кабелей связи принесло создание многоканальных систем передачи, позволивших осуществлять по физическим цепям высокочастотное, или широкополосное, телефонирование. Любопытно, что в решении данной проблемы кабельной технике оказала и продолжает оказывать помощь ее соперник — радиотехника.

Чтобы уяснить принцип высокочастотного многоканального телефонирования, вспомним, что основные звуки человеческой речи располагаются в полосе частот 300—3400 Гц. Поэтому на каждый телефонный разговор, или, как принято говорить, на один телефонный канал, отводится с запасом полоса от 0 до 4000 Гц, то есть шириной в 4 кГц. Как передать по одной физической цепи (по паре жил) не один, а несколько телефонных разговоров, предположим четыре одновременно? Просто передать их все вместе в полосе частот 0—4 кГц нельзя, так как в смеси частот одного порядка невозможно будет отличить один разговор от другого и на приемном конце будет слышна неразборчивая смесь четырех разговоров.

Для одновременной передачи нескольких, например четырех, разговоров по одной паре соответствующие им электрические сигналы на передающем конце переносятся в область высоких частот, но так, что для каждого канала отводится своя высокочастотная полоса шириной 4 кГц. Такой перенос называется модуляцией и осуществляется четырьмя полупроводниковыми преобразователями — их называют модуляторами (М) — по одному на канал. На каждый модулятор одновременно подаются: от микрофона A — колебания тональных частот и от специального радиогенератора — колебания определенной высокой частоты, например: на M_1 — 12 кГц, на M_2 — 16 кГц, M_3 — 20 кГц и M_4 — 24 кГц. Эти частоты называются несущими ($f_{н1}, f_{н2}, f_{н3}, f_{н4}$). На каждую из четырех высоких частот воздействует совокупность тональных частот

300—3400 Гц своего звукового канала. Под воздействием каждой тональной частоты соответственно изменяется (модулируется) амплитуда высокой (несущей) частоты и получаются результирующие электромагнитные колебания, частоты которых являются алгебраической суммой данной высокой, или несущей, Н и тональных частот ТЧ: $f_{\text{рез}i} = f_{\text{н}i} + f_{\text{тч}i}$.



Принцип амплитудной модуляции (*а*) и примерная схема многоканальной передачи с частотным разделением каналов по линии связи (*б*)

По обе стороны несущей частоты образуются две боковые полосы. Например, у $f_{н1}$ = 12 кГц нижняя боковая полоса 8600—11700 Гц и верхняя боковая полоса 12300—15400 Гц. Так как боковые полосы симметричны относительно своей несущей частоты, то для передачи достаточно использовать только одну из них, например верхнюю. Другая — нижняя — срезается фильтром. Совокупность четырех несущих частот с верхними боковыми полосами занимает частотный спектр шириной 4X4 = 16 кГц, в данном примере от 12 до 28 кГц. Вся эта совокупность частот может быть одновременно передана по паре жил.

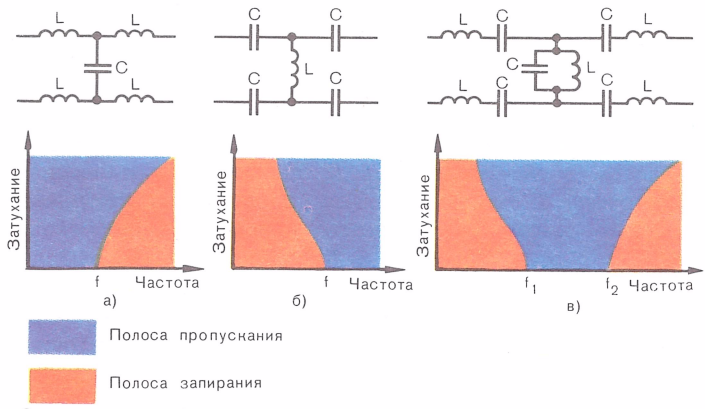
Так как каждый телефонный разговор "идет" по своему высокочастотному каналу (первый — по каналу 12300—15400 Гц с несущей $f_{н1}$ = 12 кГц, второй — по каналу 16300—19400 Гц с несущей $f_{н2}$ = 16 кГц и т. д.), то все они не создают взаимных помех.

Человеческое ухо не реагирует на высокие частоты, которые передаются по линии. Поэтому на приемном конце необходимо произвести обратную операцию, а именно перенести каждый из четырех высокочастотных каналов в низкочастотную область (0—4000 Гц). Эта операция называется демодуляцией и выполняется также полупроводниковыми преобразователями — демодуляторами (*ДМ*). Чтобы сигналы, передаваемые каждым из телефонных аппаратов абонентов пункта *А*, попали в соответствующие аппараты абонентов пункта *Б*, применяются полосовые электрические фильтры. Они пропускают колебания высоких частот только "своего" канала и не пропускают частоты "чужих каналов". В демодуляторах ДМ выделяются сигналы звуковой или тональной частоты $f_{тчi} = f_{резi} - f_{нi}$. Эти сигналы пропускаются через фильтры нижних частот и поступают к четырем телефонным аппаратам по четырем физическим двухпроводным цепям.

В системах многоканальной передачи широко применяются различные электрические фильтры. Катушка ин-

дуктивности L в цепи переменного тока оказывает различное сопротивление токам разных частот. С ростом частоты индуктивное сопротивление увеличивается: $X_L = \omega L = 2\pi f L$. Следовательно, легче пропускаются низкие частоты и задерживаются высокие. Действие конденсатора C в цепи переменного тока противоположное — емкостное сопротивление уменьшается с ростом частоты: $X_C = 1/\omega C = 1/2\pi f C$. Конденсатор легче пропускает высокие частоты и задерживает низкие. Схемы из последовательно и параллельно соединенных индуктивностей и емкостей и являются основами для образования электрических фильтров.

Телефонная связь по кабельным линиям с использованием несущих частот впервые была практически применена в 1930 г. По цепям легкопупинизированного кабеля было организовано два канала связи в спектрах частот 0,3—2,7 и 3,5—5,7 кГц. Успех двухканальной системы телефонирования способствовал переходу на четырехка-



Электрические фильтры:
а — нижних частот; *б* — верхних частот; *в* — полосовой

нальную, затем на 12-канальную и т. д. Системы многоканальной передачи типа описанной называются системами с частотным разделением каналов (ЧРК) или с амплитудной модуляцией. В последние десятилетия успешно развивается другой принцип многоканальной передачи, основанной на импульсно-кодовой модуляции (ИКМ). Это — системы с временным разделением каналов (ВРК). По кабельным цепям и в том и в другом случае передаются токи в широком диапазоне высоких частот.

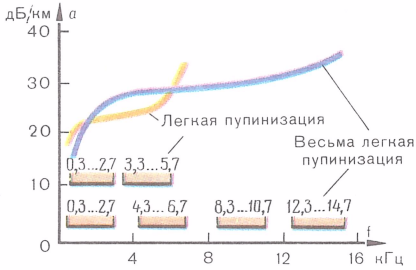
Для увеличения числа телефонных разговоров, передаваемых по одной физической цепи, приходилось постепенно уменьшать степень пупинизации линий. Пупинизированный кабель представляет собой фильтр нижних частот, наибольшая (критическая) частота $f_{кр}$, которую он пропускает, тем выше, чем меньше индуктивность пупиновских катушек: $f_{кр} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{зв} C_{зв}}}$, где индекс

Таблица 9

Первые системы передачи по междугородным кабелям связи

Спектр передаваемых частот, кГц	Число каналов связи	Длина усилительного участка, км	Система пупинизации кабеля		Индуктивность катушек*
			наименование	обозначение	
0,3—2,7	1	140	Средняя	*M*	140/56
0,3—5,7	2	70	Легкая	*L*	30/12
0,3—14,7	4	70	Весьма легкая	*S*	3,2/—
12—60	12	35	Без пупинизации	—	—

* В числителе для основных цепей, в знаменателе для искусственных.



Частотные спектры первых многоканальных систем передачи по кабельным линиям легкой L и весьма легкой S пупинизации

"зв" означает звено пупинизации. В конце концов, на очередь встал вопрос о полном отказе от пупинизации кабелей с тем, чтобы уплотнить цепи еще большим количеством каналов. Термин "уплотнение" существовал много лет, но в последние годы от него отказались. Строго говоря, при многоканальной передаче никакого сжимания каналов не происходит, ширина каждого высокочастотного канала такая, как и низкочастотного, следовательно, условия передачи телефонных разговоров при использовании несущих частот не ухудшаются.

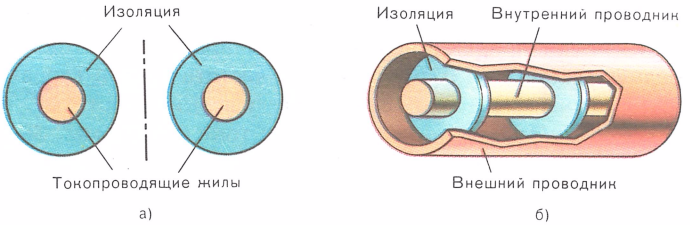
Хорошо известно, что успехи той или иной науки во многом зависят от достижений в смежных областях. Создание систем многоканального телефонирования оказало сильнейшее влияние на технику кабелей связи, внесло коренные изменения в их теорию, конструирование, производство и эксплуатацию.

Если в течение полувека по всем кабелям связи передавались только тональные частоты, то начиная с середины 1930-х годов возникло деление кабелей на низкочастотные и высокочастотные. Наряду с традиционными симметричными появился совершенно новый тип кабелей связи, получивших название коаксиальных. В чем различие между ними?

Если обе жилы цепи выполнены из проволоки одинакового диаметра, имеют изоляцию одинаковых конструкции и толщины и расположены так, что между ними можно провести плоскость симметрии, то цепь является симметричной. Соответственно кабели, скрученные из симметричных пар или четверок, называются симметричными.

Если же оба проводника цепи выполнены в форме соосных цилиндров, в поперечном сечении имеют форму концентрических окружностей (двух окружностей с общим центром), то цепь считается несимметричной (различны размеры проводников, и между ними нельзя провести плоскость симметрии) и в этом случае называется коаксиальной. "Коаксиальные" — математическое определение двух цилиндров с общей осью (ось по латыни "axis"). Кабели, скрученные из коаксиальных цепей, или пар, называются коаксиальными. Если же кабель содержит и коаксиальные, и симметричные цепи, то он комбинированный.

Читатель, вероятно, уже обратил внимание на несхожесть терминов, характеризующих токопроводящие элементы кабелей. В симметричных кабелях — это "жилы", а в коаксиальных — "проводники". В этом терминологическая дань историческому наслоению. В свое время мотивировкой служило то, что проводники коаксиаль-



Двухпроводные цепи:
а — симметричная; *б* — коаксиальная

ных цепей не изолируются в отдельности, достаточно общей изоляционной прослойки между ними. Теперь доминирует сила привычки, хотя стройность и удобство терминологии принесены в жертву. За проводниками коаксиальной пары закреплены наименования "внутренний" и "внешний".

СИММЕТРИЧНЫЕ

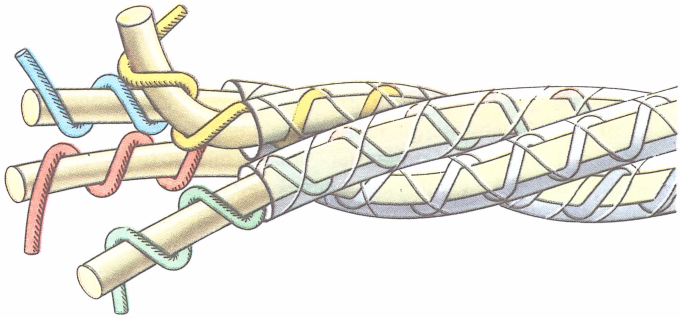
Современные симметричные кабели дальней связи, как правило, высокочастотные. Низкочастотным отведена второстепенная роль — для отдельных линий небольшой протяженности, отводов от магистральных линий и т.д.

Диаметр токопроводящих медных жил в высокочастотных симметричных кабелях 1,2 или 1,3 мм; в низкочастотных применяются и жилы меньших диаметров — 0,8 и 0,9. Для высокочастотных кабелей заманчивы трубчатые или биметаллические алюмомедные жилы. По жилам цепи течет переменный электрический ток. Под влиянием переменных магнитных полей — внутреннего и внешних (от соседних жил) в жилах возникают вихревые токи. В результате плотность основного тока перераспределяется по сечению жилы: уменьшается в центре и возрастает на периферии. Ток оттесняется к поверхности жилы. Явление это носит название поверхностного эффекта. Чем выше частота, тем тоньше кольцо, занимаемое током. Глубина проникновения (в миллиметрах) тока в медную жилу $\theta = 67/\sqrt{f}$, где f — частота тока в герцах. Для нижней границы диапазона высоких частот f = = 12000 Гц глубина проникновения тока $\theta = 0{,}6$ мм. Значит, ток распределяется по всему сечению жилы диаметром 1,2 мм и жила должна быть сплошная. На частоте f = 60 кГц значение $\theta = 0{,}275 \approx 0{,}3$ мм, а на частоте f = = 252 кГц — всего лишь $0{,}026 \approx 0{,}03$ мм. Следовательно, ток распространяется по тонкой медной трубке, кото-

рая может быть либо полой, либо наложенной на проволоку из менее проводящего материала. Возможности экономии меди теоретически очевидны. Препятствуют пока применению трубчатых и алюмомедных жил технологические трудности изготовления, их меньшие механическая прочность и стабильность по сравнению со сплошными медными жилами.

Изоляция жил высокочастотных кабелей принадлежит к высшему классу изоляции симметричных кабелей. Ее краткое название "кордельная". Это — кордельно-полистирольная, кордельно-бумажная, кордельно-полиэтиленовая. Основу ее составляет нить — кордель из соответствующего материала. Поверх корделя формируется изоляционная трубка — либо методом спиральной обмотки лентой из полистирольной пленки толщиной 0,05 мм или из кабельной бумаги толщиной 0,12 мм, либо методом экструдирования полиэтилена. Так как диаметр корделя равен примерно 2/3 диаметра токопроводящей жилы, то кордельный каркас обеспечивает наибольший, причем стабильный воздушный промежуток между токопроводящей жилой и изоляционной трубкой.

Кабели с кордельной изоляцией характеризуются наименьшей эквивалентной диэлектрической проницае-



Четверка жил с кордельно-полистирольной изоляцией

мостью и, следовательно, электрической емкостью. Если в городских телефонных кабелях рабочая емкость цепей C = 45÷55 нФ/км, то в высокочастотных кабелях дальней связи C = 21÷25 нФ/км, то есть вдвое меньше. В зависимости от назначения и условий эксплуатации кабелей кроме кордельной применяются также сплошная и пористая полиэтиленовая изоляция. Большое значение имеет точное изготовление всех элементов высокочастотных кабелей, выдерживание значительно более жестких допусков на конструктивные размеры, чем, например, в городских телефонных, что иллюстрирует таблица 10.

Основным видом скрутки изолированных жил в группы является четверочная — звездная. Впрочем, в некоторых странах применяются также двойные — парные четверки. По мере развития цифровых систем передачи (ЦСП) с временны́м разделением каналов — первичных (ПЦСП), рассчитанных на диапазон частот до 2 МГц, вторичных (ВЦСП) — до 8 МГц, третичных (ТЦСП) — до 34 МГц, четверичных (ЧЦСП) — до 140 МГц — все больший интерес проявляется к парной скрутке жил, обеспечивающей наилучшую защищенность цепей от взаимных помех. Число четверок в высокочастотных кабелях невелико — от 3 до 12, в основном 4 и 7. В низкочастотных кабелях дальней связи число четверок доходит до 100 и даже до 200. В некоторых странах все еще применяют пупинизацию низкочастотных кабелей с образованием искусственных цепей. Система скрутки сердечника — повивная.

В 1936 г. была внедрена 12-канальная система передачи по цепям непупинизированных высокочастотных симметричных кабелей. Использовался спектр частот шириной 12X4 = 48 кГц — от 12 до 60 кГц. Годы 1940-е принесли 24-канальную систему со спектром частот 12—108 кГц. Современные системы с частотным разделением каналов: 60-канальная (12—252 кГц) и 120-канальная (12—552 кГц). Наряду с ними применяются, в частности на линиях внутри-

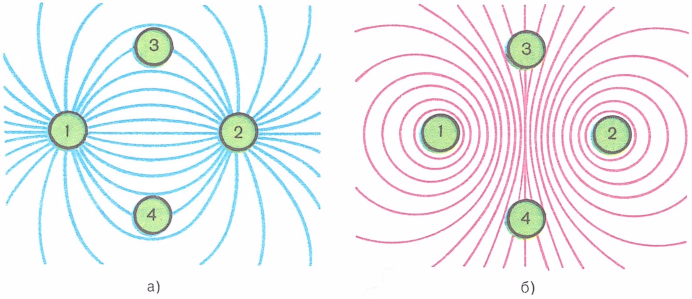
Таблица 10

Параметры жил, применямых в высокочастотных кабелях дальней связи с кордельно-полистирольной изоляцией (типа МКС) и в городских телефонных со сплошной полиэтиленовой изоляцией (типа ТП)

Конструктивный параметр	Номинальное значение в кабелях	
	МКС	ТП
Диаметр токопроводящих жил, мм	1,2	0,5
Допуск на диаметр, мм	±0,005	±0,01
То же, %	±0,4	±2
Толщина изоляции, мм	0,845	0,25
Допуск на толщину изоляции, мм	±0,035	±0,05
То же, %	±4,15	±20
Диаметр изолированной жилы, мм	1,89	1,0
Допуск на диаметр изолированной жилы, мм	±0,04	±0,11
То же, %	±2,1	±11

зоновых и местных телефонных сетей, системы с меньшим количеством каналов.

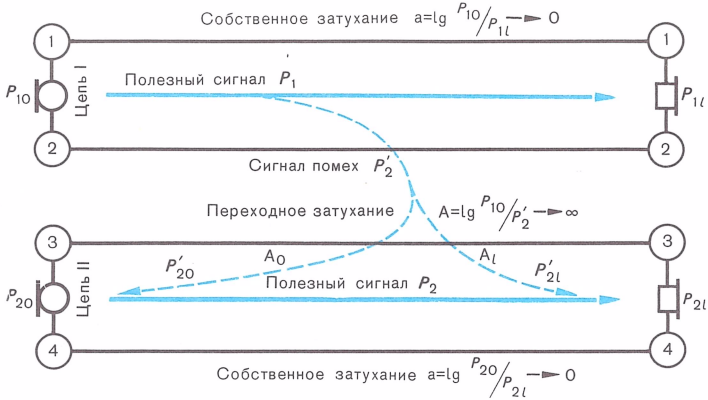
Расширению спектра частот, передаваемых по симметричным цепям, препятствует возрастающее при этом взаимное влияние между ними. Когда так проходит по первой цепи (*I*) четверки, образованной жилами *1—2*, вокруг них создается электрическое поле, силовые линии которого пронизывают жилы *3—4* второй цепи (*II*).



а) б)

Взаимные влияния между цепями в кабеле:
***а* — электрическое; *б* — магнитное**

Аналогична схема магнитного влияния между цепями. В результате по цепи // потечет помимо основного еще и переходный ток, мешающий телефонному разговору. Иногда мы не в состоянии вести разговор из-за сильных шумов, порой даже слышатся обрывки чужого разговора. Отсюда и термин "переходный разговор".



Полезный сигнал *P* и сигнал помехи *P'* в цепях кабеля

Естественно стремление к тому, чтобы мощность переходного разговора была как можно меньше. Пусть по цепи *I* передается полезный сигнал мощностью P_1. В цепь *II* переходит мешающий сигнал — сигнал помехи мощностью P_2', который поступает к телефонам как на передающем (P_{20}^1), так и на приемном концах (P_{2l}^1). В отличие от полезного сигнала, сигнал помехи должен быть как можно меньше. Раньше говорилось о собственном затухании (или ослаблении) цепи *а* и о том, что для качественной передачи достаточно, чтобы до приемника дошла хотя бы 1/1000 мощности первоначального сигнала (*а* не более 30 дБ).

Защищенность от взаимных помех оценивается так называемым переходным затуханием A. В отличие от собственного затухания, переходное затухание для надежной защиты смежных цепей в кабеле от взаимных помех должно быть как можно больше. Оно определяется отношением мощности полезного сигнала к мощности сигнала помехи $A = 10 \lg P_1/P_2^1$.

Удовлетворительной считается передача, если мощность сигнала помехи по меньшей мере в миллион — десять миллионов раз меньше мощности полезного сигнала. Следовательно, переходное затухание должно быть не менее $A = 10 \lg (10^6 - 10^7) = 60 \div 70$ дБ на наивысшей передаваемой частоте. Идеальной была бы такая цепь, в которой полезному сигналу всегда бы светил только зеленый свет, и его ослабление было бы минимальным, стремилось к нулю, а сигналу помехи — красный, с тем, чтобы его переходное затухание стремилось к бесконечности. Практически, конечно, переход с одной симметричной цепи на другую неизбежен и неотвратимо возрастает (а значит, переходное затухание уменьшается, барьерное действие ослабевает) с повышением частоты.

КОАКСИАЛЬНЫЕ

Стало модным в последнее время оценивать события в масштабе столетия.

"Преступлением века" стало убийство 35-го президента США Джона Кеннеди в 1963 г. "Ограблением века" — похищение денег из почтового поезда в Англии. "Атакой века" назвал писатель А. Крон* потопление подводной лодкой С-13 Балтийского флота в январском плавании 1945 г. фашистских судов — гигантского военно-транспортного лайнера "Вильгельм Густлов" и крейсера "Генерал Штойбен". "Прыжком века" сочли спортивные журналисты фантастический рекорд Боба Бимона — 8 м 90 см, установленный в прыжках в длину на олимпийских играх 1968 г. в Мехико.

А как быть с открытиями и изобретениями? Как оценить и сопоставить абсолютную значимость открытий и изобретений, сделанных в различных отраслях техники? По сумме экономического эффекта — в отличие от ограбления не отрицательного, а положительного — не получится, да и чересчур формальный носило бы это характер. Вероятно, придется дифференцировать по областям знаний, а может быть, даже по более узким направлениям. В зарубежных журналах в качестве претендентов на звание изобретения века в технике кабелей связи выдвигались и "барьер Гловера", и разнонаправленная, так называемая *SZ*-скрутка, и глубоководный кабель без брони (о нем речь впереди). На наш взгляд, бесспорный приоритет здесь принадлежит коаксиальному кабелю — феномену электрических кабелей связи XX века.

Идею использовать для широкополосной многоканальной передачи коаксиальный кабель выдвинул инженер концерна "Белл систем" С. А. Щелкунов. Он разработал тео-

---

* Капитан дальнего плавания. "Новый мир", 1983 г., № 2.

рию коаксиального кабеля связи, которую опубликовал в 1934 г. Уникальность коаксиального кабеля состоит в том, что в противоположность симметричным кабелям с расширением спектра передаваемых частот помехозащищенность цепей не ухудшается, а улучшается.

Электрическое поле в коаксиальном кабеле замыкается между внутренним и внешним проводниками, следовательно, внешнее электрическое поле отсутствует. Также отсутствует внешнее магнитное поле. В любой точке пространства вне коаксиальной пары напряженность магнитного поля, создаваемого каждым из прямолинейных проводников, определяется по закону полного тока:

$$H = I/2\pi r ,$$

где I — ток, текущий в проводнике; r — расстояние рассматриваемой точки от центра проводника — сплошного или полого.

Так как в обоих проводниках токи равны, но противоположны по направлению, а центр проводников коаксиальной пары общий, то

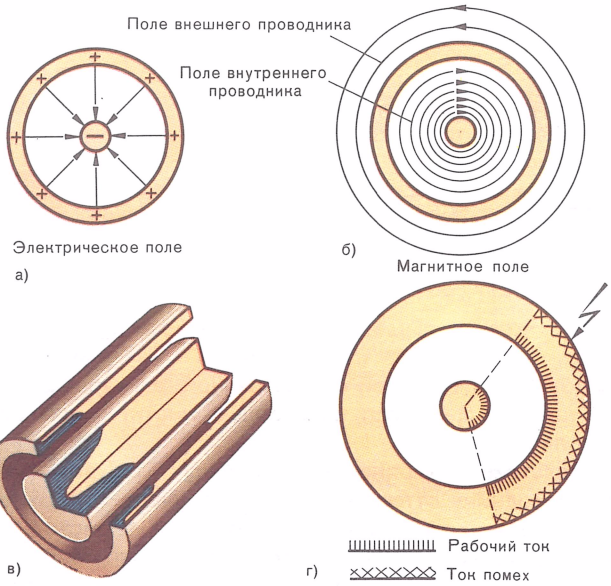
$$H_{вт} = I/2\pi r , \text{ а } H_{вш} = -I/2\pi r \text{ и } H_{рез} = H_{вт} + H_{вш} = 0.$$

Итак, коаксиальная пара не имеет внешнего электромагнитного поля, что и обусловливает ее основные преимущества перед парой симметричной, электромагнитное поле которой действует на довольно значительном от нее расстоянии.

Вследствие поверхностного эффекта ток во внутреннем проводнике оттесняется к его наружной поверхности, а во внешнем, наоборот, к внутренней (происходит это под воздействием поля внутреннего проводника; если бы его не было, ток и во внешнем проводнике перераспределялся так же, как и во внутреннем). Чем выше частота, тем сильнее эффект смещения токов, меньше глубина их проникновения. Мешающее электромагнит-

ное поле высокой частоты, которое может быть создано соседними коаксиальными парами, ибо они не идеальны, а изготовлены с реальными конструктивными и технологическими допусками, или внешними источниками, например радиостанциями, также будет распространяться не по всему сечению внешнего прводника, а лишь по его поверхности — в данном случае наружной.

Таким образом, внешний проводник коаксиальной пары выполняет две функции: обратного проводника цепи передачи и экрана, защищающего полезный сигнал передачи от мешающих влияний. Благодаря повышению по-



Поля коаксиальной пары и распределение токов в ее проводниках: *а* — электрическое поле; *б* — магнитное поле; *в* — рабочие токи; *г* — рабочий ток и ток помех

мехозащищенности с ростом частоты по коаксиальным парам возможно передавать в десятки и сотни раз большее число телефонных разговоров, чем по симметричным. Вот почему коаксиальные кабели занимают доминирующее положение на магистральных линиях дальней связи в любой стране.

Первый коаксиальный кабель 2Х1,83/6,7 был проложен в 1936 г. на опытной линии Нью-Йорк — Филадельфия. Он состоял из двух коаксиальных пар, по которым осуществлялась двусторонняя передача 224 телефонных разговоров в спектре частот шириной 1 МГц. Цифрами в марках коаксиальных кабелей указываются число коаксиальных пар и их размеры: в числителе — диаметр внутреннего проводника, а в знаменателе — внутренний диаметр внешнего проводника в миллиметрах.

Таблица 11

Коаксиальные кабели США и системы передачи по ним

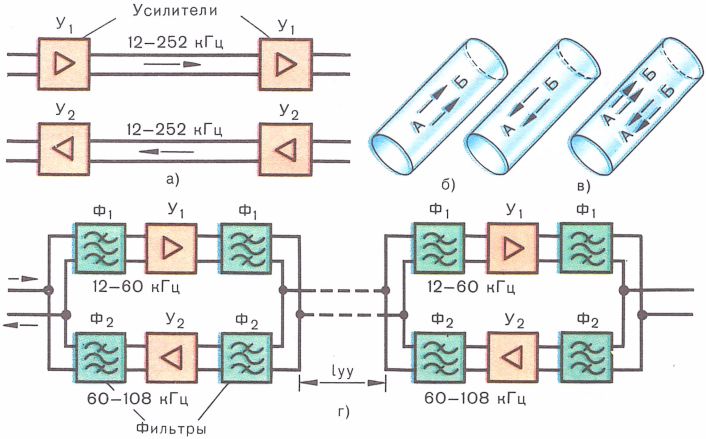
Год	Тип кабеля (число пар и их размеры)	Максимальная частота передачи, МГц	Число телефонных разговоров, передаваемых		Длина усилительного участка, км
			по одной паре	по всему кабелю	
1936	2Х1,83/6,7	1	224	224	16
1941	4Х1,83/6,7	3	600	1200	8
1947	8Х2,6/9,5	3	600	1800	12,8
1953	8Х2,6/9,5	8	1860	5580	6,4
1962	12Х2,6/9,5	8	1860	9300	6,4
1965	20Х2,6/9,5	8	1860	16740	6,4
1967	20Х2,6/9,5	17,5	3600	32400	3,2
1974	22Х2,6/9,5	60	10800	108000	1,6

Как развивались в дальнейшем коаксиальные магистральные кабели и системы многоканальной передачи по ним, видно из таблицы, иллюстрирующей, в частности, опыт США.

Предвижу недоуменный возглас читателя: "Арифметика не сходится?!" Действительно, если по одной коаксиальной паре передается 600 телефонных разговоров, то почему пропускная способность кабеля, состоящего из восьми коаксиальных пар, увеличивается всего в три раза вместо восьми. Прежде всего, во всех кабелях с парами 2,6/9,5 две пары — резервные. Но главное — в особенности организации высокочастотной связи. При низкочастотной связи телефонный разговор в обоих направлениях — от абонента *А* к абоненту *Б* и обратно от *Б* к *А* — передается по одной физической двухпроводной цепи. При высокочастотной связи как по симметричным, так и по коаксиальным кабелям возможны две схемы: четырехпроводная и двухпроводная.

При физически четырехпроводной схеме для одного телефонного разговора выделяются две цепи (две пары): по одной паре идет передача в направлении от *А* к *Б*, а по второй — от *Б* к *А*, причем в обоих направлениях в одном и том же диапазоне частот, например 12—252 кГц. Поэтому, когда мы говорим, что по каждой паре передается в этом случае 60 каналов связи, мы допускаем неточность, так как для передачи 60 каналов требуются две пары, а не одна. Чтобы вычислить суммарную пропускную способность кабеля N, надо сначала число пар в нем p разделить на два, а затем умножить на число каналов n системы передачи: $N = (p/2)\,n$. Так, если по симметричному кабелю 4Х4Х1,2 организуется 60-канальная система передачи, то $N = (8 : 2) \times 60 = 240$ телефонных разговоров.

Из-за значительных взаимных влияний высокочастотная связь по симметричным кабелям организуется по двухкабельной системе: два кабеля прокладываются ря-



Схемы высокочастотной связи:
а — четырехпроводная; *б* — четырехпроводная двухкабельная; в — четырехпроводная однокабельная; *г* — двухпроводная

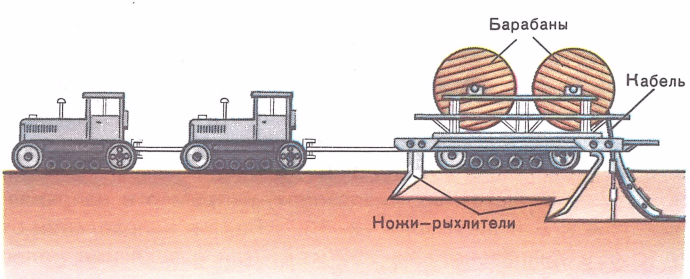
дом в одной траншее, все пары одного кабеля предназначены для передачи в направлении *А—Б*, а другого — в направлении *Б—А*. Благодаря высокой помехозащищенности коаксиальных пар все они располагаются в одном кабеле. Тогда если в кабеле 12Х2,6/9,5 за вычетом двух резервных имеется 10 рабочих пар, то при 1860-канальной системе передачи общая пропускная способность его 5Х1860 = 9300 телефонных разговоров.

Двухпроводная схема отличается тем, что разговор в обоих направлениях идет по одной физической цепи, но в разных частотных диапазонах, например в направлении от *А* к *Б* в диапазоне 12—132 кГц, а в направлении от *Б* к *А* в диапазоне 132—252 кГц. Для разделения полос частот обоих направлений передачи на входе и выходе каждого усилителя ставятся разделительные фильтры.

Общая пропускная способность кабеля при одинаковых ширинах всего частотного диапазона будет такая же, как и при физически четырехпроводной схеме. В приведенном примере в каждом направлении будет передаваться уже не 60, а только 120 кГц : 4 кГц = 30 каналов. Следовательно, для кабеля 4Х4Х1,2 суммарное N = 8Х30 = 240.

Уникальность свойств коаксиальных кабелей обусловила уникальные возможности их применения: только по коаксиальным парам передаются телевизионные изображения, так как для этого необходим спектр частот шириной 6 МГц. В многокоаксиальном кабеле часть пар используется обычно для передачи телевизионных программ (также две пары для обоих направлений), а часть — для многоканальной связи.

Прежде чем переходить к конструкциям коаксиальных кабелей, небольшой экскурс в их историю. В одной из книг, посвященных коаксиальным кабелям, изданной в начале 1950-х годов, говорится, что теория коаксиальных кабелей была разработана П. Д. Войнаровским еще в 1912 г., но массовое изготовление их относится лишь к 1930 г. — моменту появления высокочастотных полимерных диэлектриков. Сказанное было в дальнейшем повторено в нескольких книгах. Согласиться с этим трудно.



Механизированная прокладка кабеля дальней связи

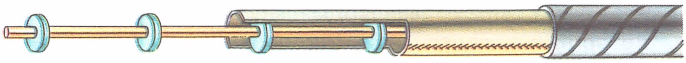
Возможно была отдана формальная дань терминологии, за которой потерялось существо дела. ". . . В любой научной области — как в области природы, так и в области истории — надо исходить из данных нам *фактов*. . . , — писал Ф. Энгельс в "Диалектике природы", — . . . нельзя конструировать связей и вносить их в факты, а надо извлекать их из фактов и, найдя, доказывать их, насколько это возможно, опытным путем"*. Что же дает нам "извлечение из фактов"?

Стала раритетом отлично изданная в 1912 г. и поэтому великолепно сохранившаяся книга одного из крупнейших русских электриков-связистов конца XIX и начала XX веков профессора и ректора Петербургского электротехнического института Павла Дмитриевича Войнаровского (1886—1913) "Теория электрического кабеля" объемом в 200 страниц. Это был первый в России и один из первых в мире фундаментальных трудов по кабельной технике. Действительно, Войнаровский рассматривал двухжильные и трехжильные кабели как симметричных конструкций, так и с коаксиально расположенными жилами. В ту пору последние назывались концентрическими (теперь трехжильный, или трехпроводный, концентрический кабель мы бы назвали короче: триаксиальный). Но суть заключается в том, что это были силовые кабели для передачи электроэнергии. Такие кабели были широко распространены в начале нашего века, но затем от них отказались. Об этом впоследствии писал известный советский специалист по кабельной технике Василий Дмитриевич Лебедев в своем капитальном труде "Силовые кабели", изданном в 1936 г.

В качестве кабелей связи Войнаровский концентрические кабели не рассматривал. В главе 2 своей книги он по-

---

* Энгельс Ф. Диалектика природы. — М.: Госполитиздат, 1955, с. 26.



Коаксиальная пара с шайбовой полиэтиленовой изоляцией и швом типа "молния"

казал, что внешнего магнитного поля у коаксиальной пары нет (закон полного тока был к тому времени известен), и рассчитал ее внутреннее поле — применительно к промышленной частоте 50 Гц. Ни об особенностях распределения тока высокой частоты по сечению проводников коаксиальной пары, ни об экранирующих свойствах внешнего проводника Войнаровский не писал, он их не исследовал. Основное содержание книги относится к теории силовых кабелей. Общей теории передачи по линии связи посвящен в конце главы 2 небольшой параграф.

В первом десятилетии века не было еще объективных предпосылок для разработки теории высокочастотного коаксиального кабеля связи. Такие предпосылки появились в третьем десятилетии по мере разработок систем многоканальной связи. Что касается промышленного изготовления коаксиальных кабелей с четным числом пар, предназначенных для междугородных линий, то началось оно не в 1930, а в 1935 г. после опубликования основополагающей их теории.

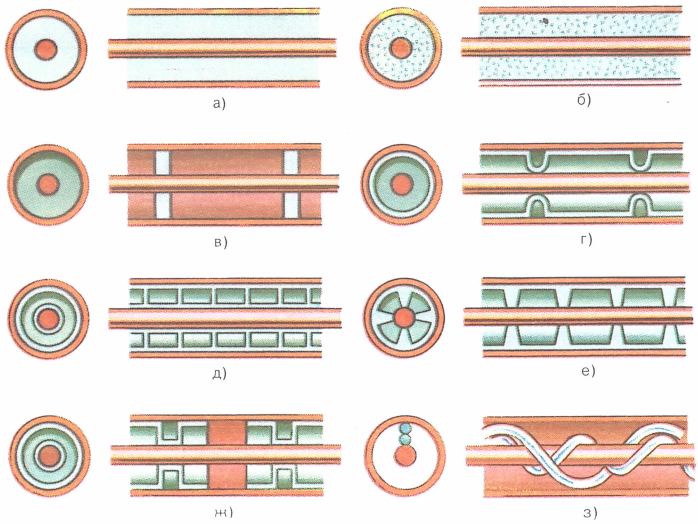
Примерно до середины 1960-х годов основным типом коаксиальной пары, стандартизованной во всем мире по рекомендации Международного консультативного комитета по телеграфии и телефонии (МККТТ), была пара 2,6/9,5. По мере того как возрастала передающая способность коаксиальной пары и одновременно увеличивалось число пар в кабеле, было решено изготовлять также коаксиальную пару меньших размеров, допускающую передачу меньшего числа каналов, зато более экономичную. Так была стандартизована пара 1,2/4,4. Национальные стандарты допускают незначительные колебания номинальных размеров,

например 1,2/4,6; 2,6/9,4; 2,65/9,5. Пару 1,2/4,4, в отличие от пары 2,6/9,5, назвали малогабаритной. Но для пары 2,6/9,5 подходящего названия не оказалось. Вначале ее пытались именовать стандартной или нормальной, но после того, как была стандартизована также пара 1,2/4,4, первое из наименований потеряло смысл. Что же касается второго, то оно двусмысленно: значит, все остальные пары не нормальные? В дальнейшем появились пары как еще меньших, так и еще больших размеров, например 0,7/2,9; 0,9/3,2 или 3,7/13,5; 4,1/15, а также 5/18; 6,85/24,75; 7/27 и др. Как все их называть?

Терминология женской моды оказалась более гибкой: мини, миди, макси — коротко и ясно. А что если распространить ее и на коаксиальные кабели: микрокоаксиальные с диаметром внутреннего проводника d до 1 мм включительно; миникоаксиальные — с d = 1,01—2 мм; мидикоаксиальные — с d = 2,01—3 мм и максикоаксиальные — с диаметром d более 3 мм.

Внутренний проводник коаксиальных пар медный однопроволочный сплошной. В перспективе не исключены алюмомедные проводники с толщиной медного покрытия 0,03—0,2 мм в зависимости от диаметра проволоки. Сформировать идеальный внешний проводник в виде бесшовной гладкой трубки крайне затруднительно. Медная лента толщиной 0,15—0,3 мм сворачивается в трубку с одним продольным швом. Раньше лента штамповалась так, чтобы образовывался шов типа "молнии", теперь — предпочтительнее наносить на края ленты мелкую гофрировку.

Масса внешнего проводника в 1,5—2 раза больше, а его электрическое сопротивление в 1,5—2 раза меньше, чем внутреннего. Экономически выгодно вместо медного использовать алюминиевый внешний проводник. При этом либо незначительно, всего на 6% возрастает коэффициент ослабления коаксиальной пары, либо приходится несколько увеличивать ее размеры, например до 2,8/10,2 вместо 2,6/9,5.



Типы изоляции коаксиальных пар:
а — сплошная полиэтиленовая; *б* — пористая полиэтиленовая; *в* — шайбовая; *г* — баллонная; *д* — бамбуковая; *е* — каркасно-ленточная; *ж* — втулочная; *з* — кордельно-полистирольная

Разнообразны варианты изоляции коаксиальных пар. Наиболее распространена шайбовая — в виде полиэтиленовых шайб толщиной $\delta = 1{,}8 \pm 0{,}1$ мм, расположенных на внутреннем проводнике с примерными интервалами, то есть с шагом $h = 30$ мм. Подобная изоляция обладает наименьшей эквивалентной относительной диэлектрической проницаемостью, определяемой, исходя из соотношений объемов полиэтилена и воздуха, простым выражением $\epsilon_{r\ эк} = 1 + \delta/h \times 1{,}3$. Подставляя δ и h, получаем $\epsilon_{r\ эк} = 1{,}08 \pm 0{,}01$.

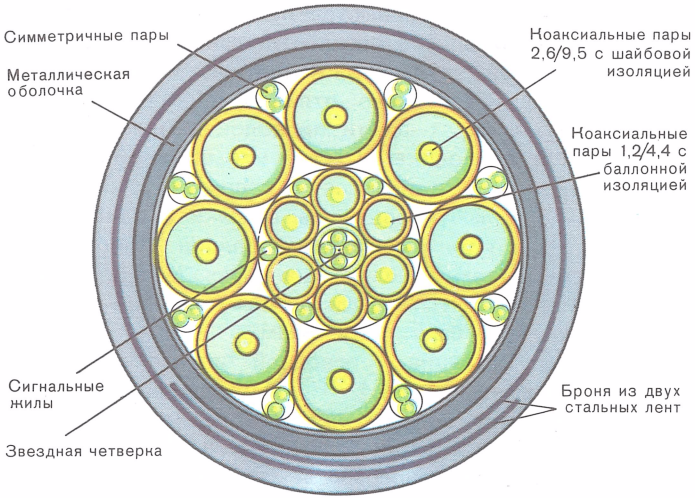
Шайбы либо насаживаются на внутренний проводник через радиальную прорезь путем приложения механичес-

кого усилия, либо отливаются непосредственно на проводнике. Второй способ предпочтительнее, так как шайбы без прорези электрически прочнее и механически устойчивее. Шайбы можно отливать циклически одновременно на четырех—шести проволоках или непрерывно на одной проволоке. Чтобы уменьшить объем твердого диэлектрика, шайбам иногда придают линзообразную форму, делают небольшие выемки с одной, двух или четырех сторон. Шайбовая изоляция наиболее распространена в мидикоаксиальных парах 2,6/9,5. Встречается она и в парах 1,2/4,4, где шайбы толщиной δ = 1 мм расположены с шагом h = 16 ÷ 18 мм.

Баллонная изоляция — основной тип изоляции миникоаксиальных пар 1,2/4,4. На внутренний проводник выпрессовывается полая полиэтиленовая трубка толщиной 0,4 мм, которая периодически, через 15—20 мм обжимается. Образуется непрерывная изоляция как бы из соединенных последовательно баллончиков. Ее $\epsilon_{r\ эк}$ = 1,20 ÷ ÷ 1,25. Реже применяется пористая полиэтиленовая изоляция с $\epsilon_{r\ эк}$ = 1,5. В отдельных странах встречаются и другие разновидности изоляции.

Бамбуковая изоляция пар 1,2/4,4 представляет собой тонкостенную полиэтиленовую трубку с периодическими перегородками по длине, причем трубка и перегородки составляют единое целое. Продольное сечение изоляции напоминает продольный разрез бамбука. Втулочная изоляция выполнена из полиэтиленовых втулок длиной 12 мм, насаженных на внутренний проводник диаметром 1,2 мм с шагом 6 мм. Кордельная изоляция накладывается из одного полиэтиленового или двух полистирольных (с целью увеличения объема воздуха) корделей; поверх корделя располагается трубка — либо сплошная полиэтиленовая, либо из полистирольной ленты.

В Японии разработана изоляция из полиэтиленовой ленты толщиной 0,4 мм, на одной из поверхностей которой



Комбинированный коаксиальный кабель, состоящий из восьми пар 2,6/9,5 с шайбовой изоляцией, шести пар 1,2/4,4 с баллонной изоляцией и симметричных четверок

через каждые 12 мм имеются по четыре поперечных выступа высотой 1,2 мм.

Лента сворачивается продольно вокруг внутреннего проводника, центрируемого выступами, которые располагаются под прямым углом один относительно другого. Приемлемое название изоляции каркасно-ленточная.

Характерной особенностью современных коаксиальных кабелей является то, что они большей частью комбинированные. Это — сочетание в одном кабеле коаксиальных пар разного размера, а также симметричных четверок и пар и даже отдельных изолированных жил, Так, отечественный коаксиальный магистральный кабель типа КМ-8/6 содержит восемь пар 2,6/9,4, шесть пар 1,2/4,6, одну чет-

верку, восемь симметричных пар и шесть отдельных жил. По парам 2,6/9,4 можно организовать мощные пучки каналов на большие расстояния; по парам 1,2/4,6 — связь между промежуточными городами на трассе, для которых достаточно меньших пучков каналов. Часть симметричных цепей используется для высокочастотных систем передачи, например 24-канальной, между небольшими населенными пунктами, часть — для служебной связи на тональных частотах (с применением пупинизации) . Отдельные жилы служат для передачи сигналов телеконтроля и телеуправления. Комбинированные кабели бывают самых различ-

Таблица 12

Системы многоканальной связи (с частотным разделением каналов) по коаксиальным парам

Число телефонных каналов (по двум парам)	Ширина частотного диапазона, МГц	Длина усилительного участка, км
	Пары 2,6/9,5	
900—960	4	9
1200—1260	6	8
1800—1920	8,5	6
2700	12	4,5
3600	18	3
10800	60	1,5
	Пары 1,2/4,4	
300	1,3	6—8
900—1020	4,0—4,5	4
1200—1260	6	3
2700	12	2
3600	18	1,5

ных конструкций, например 18Х2,6/9,5+6Х1,2/4,4+10Х Х4Х0,9+20Х2Х0,9. Также различны применяемые системы многоканальной передачи.

Таким образом, по комбинированному кабелю КМ-8/6 при использовании систем передачи на 10800 каналов по парам 2,6/9,5 и на 1020 каналов по парам 1,2/4,6 можно одновременно передавать (без резервирования пар) 46260 телефонных разговоров.

Экономичность коаксиальных кабелей по сравнению с симметричными наглядно иллюстрирует сопоставление расхода меди, отнесенного на один телефонный разговор и на километр длины линии (кг/канал·км).

Таблица 13

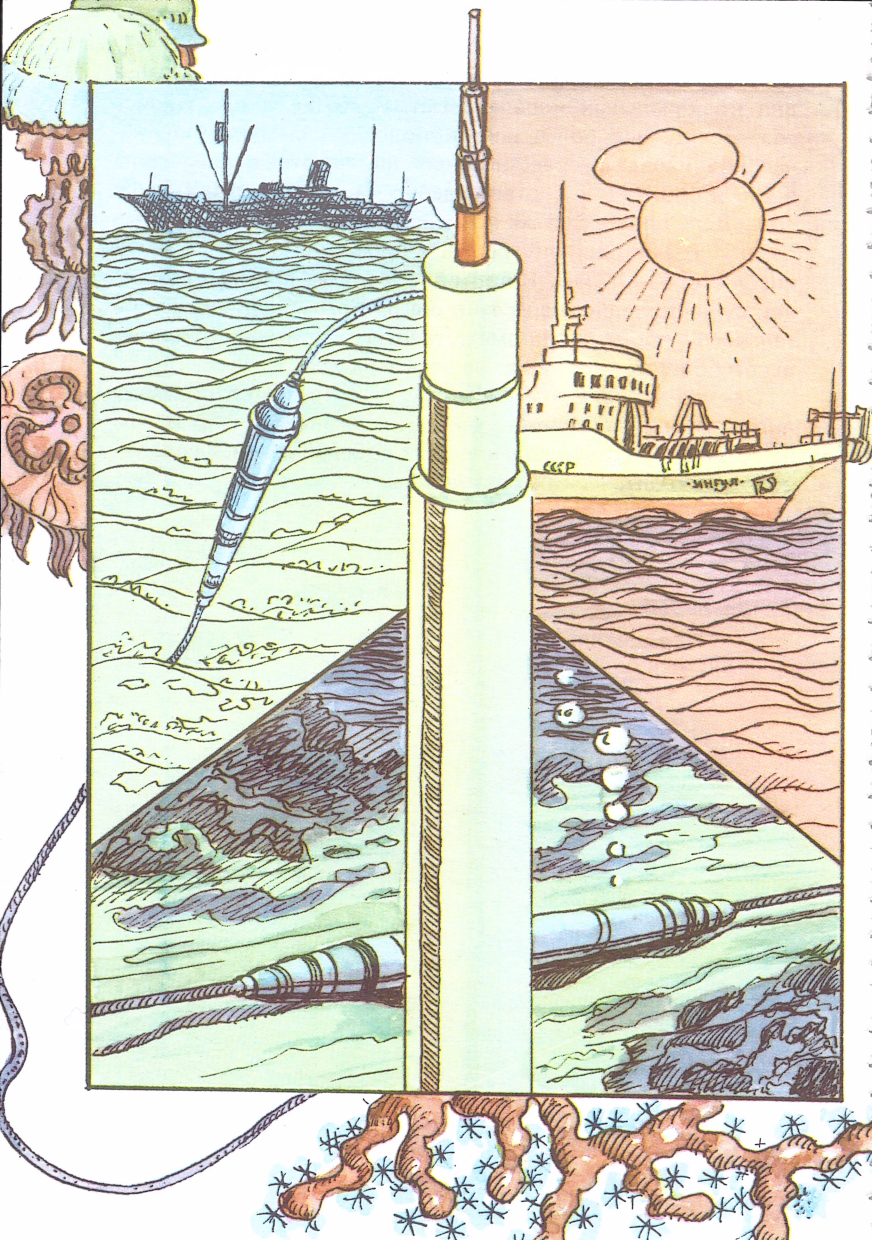
Металлоемкость симметричных и коаксиальных цепей

Конструктивный элемент	Масса меди, кг/км	Система передачи (число каналов)	Расход меди, кг/канал·км
1Х4Х1,2	40,3	12	3,36
(одна симметричная четверка)		24	1,68
		60*	0,67
		120	0,34
2Х1,2/4,6	62,8	300	0,21
(две коаксиальные пары)		1020	0,06
2Х2,6/9,5	241,4	1920	0,126
(две коаксиальные пары)		3600	0,067
		10800	0,022

* В отечественной практике разработана и внедряется схема смешанного использования симметричного кабеля 4Х4Х1,2. Три четверки служат для 60-канальных систем передачи, а одна — для 1020-канальной. Благодаря этому число разговоров, одновременно передаваемых по кабелю (при двухкабельной линии), возрастает почти втрое и расход меди на один канало-километр снижается до 0,23 кг.

Является ли ширина спектра частот 60 МГц предельной для коаксиальных кабелей? Нет. В 1970-е годы начались разработки еще более широкополосных систем многоканальной передачи, рассчитанных на частотные диапазоны в 200 и 600 МГц — соответственно на 30000 и 90000 каналов. Для таких систем потребовались бы коаксиальные пары с диаметром внутреннего проводника 10—12 мм и внешнего 40—45 мм. В противном случае при использовании существующих пар резко сократилась бы длина усилительного участка — промежуточные усилители пришлось бы располагать через каждые несколько сот метров.

Однако в последние годы темп этих разработок замедлился: основные усилия ученых и инженеров направлены на создание принципиально новых кабелей дальней связи — волоконно-оптических, световодных.



Глава 8 ЧЕРЕЗ МОРЯ — ОКЕАНЫ

ПОДВОДНЫЕ ТЕЛЕФОННЫЕ

С подводными кабелями мы расстались на рубеже XIX и XX веков, когда закончился первый этап их развития — этап феерического взлета телеграфных кабелей с гуттаперчевой изоляцией. Ошибочным было бы упрощенное представление о четкой границе во времени между очередными историческими этапами: заканчивается один — начинается другой. Телеграфные подводные, в том числе трансокеанские, кабели прокладывались на протяжении первой трети нового века. Но основную роль в XX столетии играют, конечно, кабели телефонные.

В отличие от прошлого века, когда телеграфные подводные кабели неожиданно опередили в своем развитии кабели подземной прокладки, в текущем столетии подводные телефонные кабели развивались параллельно с подземными. Для увеличения дальности связи началось без промедления внедрение крарупизации и пупинизации подводных кабелей. Гуттаперчевую изоляцию постепенно начала вытеснять воздушно-бумажная, обладающая вдвое меньшей электрической емкостью. В этом случае изоляция защищалась от воздействия воды свинцовой оболочкой, под которой располагалась опорная спираль из стальной ленты или стальных профилированных проволок. Такие кабели могли прокладываться на глубинах до 1000 м. Кабели с гуттаперчевой изоляцией состояли из одной чет-

Таблица 14

Подводные телефонные низкочастотные кабели начала XX века

Трасса линии	Год прокладки	Длина, км	Изоляция	Сердечник	Способ увеличения индуктивности	Коэффициент затухания*, дБ/км
Швеция—Дания	1902	5,3	Г	1X4X2,1	К**	0,17
Германия—Дания	1903	19,3	В—Б	1X4X3,6	К	0,10
Германия—о. Гельголанд	1903	80,6	В—Б	1X2X4,0	К	0,06
п-ов Ютландия (Дания)—о. Зеландия	1904	40	Г	1X4X3,3	К	0,10
Германия—Швейцария	1906	12,6	В—Б	7X2X1,5	П	0,09
Англия—Франция	1910	43,4	Г	1X4X2,4	П	0,10
Англия—Бельгия	1911	90	Г	1X4X2,4	П	0,09
Англия—Ирландия	1913	118	Г	1X4X2,4	П	0,07
Германия—Швеция	1919	120,5	В—Б	1X4X2,1	К	0,13
Англия—Голландия	1922	152,6	Г	1X4X2,4	П	0,07
Германия—Восточная Пруссия	1922	175,5	В—Б	3X4X1,9	К	0,12
Англия—Голландия	1924	159	В—Б	4X4X2,35	К	0,09
Германия—Дания	1926	45,8	В—Б	12X4X1,0	П	0,30

Окончание табл. 14

Трасса линии	Год прокладки	Длина, км	Изоляция	Сердечник	Способ увеличения индуктивности	Коэффициент затухания*, дБ/км
Германия—Швеция	1927	118	В—Б	12Х4Х1,5	П	0,16

*На частоте 800 Гц.

** Обмотка железной проволокой диаметром 0,2—0,3 мм преимущественно в один, иногда в два или три слоя.

Примечание. Условные обозначения: Г — гуттаперчевая; В—Б — воздушно-бумажная; К — крарупизация; П — пупинизация.

верки, а с воздушно-бумажной — имели от одной четверки (или пары) до 12 четверок.

Но ни искусственное увеличение индуктивности, ни применение с 1920-х годов ламповых усилителей не позволяло решить проблему трансокеанской телефонии, сделать скачок по шкале "эль". Дальность связи по подводным телефонным кабелям в первой половине столетия не превышала 200 км. Вопрос, который часто задавался на лекциях, закономерен: почему же телеграфные кабели могли пересекать океаны, а телефонные нет? Впрочем, также и закономерен ответ: все дело в различии передаваемых частот. Частоты телеграфирования — несколько герц или десятков герц, частоты телефонирования в начале века — от 300 до 2700 Гц.

Коэффициент затухания кабелей α, как известно, увеличивается при возрастании частоты (f, ω), следовательно, дальность связи уменьшается ($l = a/\alpha$). Усилители ус-

танавливались на оконечных береговых станциях. Если в подземные линии через каждые несколько десятков километров встраивались промежуточные усилители, то подводные линии были лишены такой возможности. Изготовлять надежные и долговечные усилители для подводной прокладки — с учетом того, что через каждые 10 м глубины давление воды повышается на одну атмосферу, или примерно на 100 кПа — долгое время не умели.

Первый в мире коаксиальный кабель связи был подводный, проложенный между Ки Уэст (Флорида) и Гаваной (Куба) в 1921 г. Он не был высокочастотным. Это был низкочастотный крарупизированный телефонно-телеграфный кабель с гуттаперчевой изоляцией. В полосе частот до 3800 Гц можно было организовать четыре телеграфных канала и один телефонный. На трассе протяженностью 190 км были проложены три кабеля. В отличие от телеграфных одножильных кабелей, у которых обратным проводом служила морская вода и частично броня, у этих кабелей был внешний проводник из двух спирально навитых медных лент. Благодаря этому уменьшилось электрическое сопротивление обратного провода цепи, что было необходимо для телефонирования. Еще один пример того, что коаксиальная конструкция кабеля не всегда была обязательным условием его высокочастотности.

Все же шкала "эф" была "освоена" подводными кабелями быстрее шкалы "эль". Первые коаксиальные высокочастотные кабели были проложены в 1929 г. между Испанией и Марокко через Гибралтарский пролив (37 км) и между двумя из Канарских островов — Тенерифе и Гран-Канария (75 км). Кабели 3,9/12,6 имели еще гуттаперчевую изоляцию; внешним проводником служил повив из 34 медных проволок диаметром 0,9 мм. В 1930—1931 гг. был проложен кабель Ки Уэст—Гавана длиной 202 км. В нем впервые была применена изоляция из но-

вого материала — парагутты. Парагутта — смесь из гуттаперчи, резины и воска — значительно превосходила гуттаперчу по электроизоляционным свойствам. Так, относительная диэлектрическая проницаемость (ϵ_r) и тангенс угла диэлектрических потерь (tg δ) на частоте 2 кГц составляли: у гуттаперчи 3,5 и соответственно $3 \cdot 10^{-3}$, а у парагутты 2,65 и $1 \cdot 10^{-4}$. Это значит, что диэлектрические потери в изоляции из парагутты были в 40 раз меньше. Кабель 4,25/16,1 был предназначен для передачи трех телефонных разговоров по физически двухпроводной цепи в спектрах частот 6,3—16,4 кГц в направлении А—Б и 18,4—28,5 кГц — в направлении Б—А.

В 1937 г. на англо-голландской линии Олдборо—Домбург длиной 150 км были проложены параллельно два коаксиальных кабеля. По каждому кабелю передавалось в одном направлении 16 телефонных каналов в спектре частот до 60 кГц — это физически четырехпроводная двухкабельная система связи. В 1940 г. в Англии был проложен экспериментальный коаксиальный кабель со сплошной полиэтиленовой изоляцией. Вскоре полиэтилен становится основным изоляционным материалом для подводных кабелей.

Не следует полагать, что начиная с 1930 г. все подводные телефонные кабели были только коаксиальными. Прокладывались и симметричные высокочастотные кабели, предназначенные для многоканальных систем передачи. Первый из них, мелководный германо-шведский легкопупинизированный кабель 1930 г. конструкции 42Х4Х1,2+1Х2экр.Х1,75 (последняя в условной записи — экранированная радиовещательная пара) длиной 120 км, был рассчитан на двухканальную систему передачи в полосе частот 0,3—5,2 кГц. Две группы по 21 четверке — каждая для одного направления передачи — были разделены экраном из металлизированной бумаги и образовывали физически четырехпроводную однокабельную систему. По

кабелю можно было передавать 84 телефонных разговора; он имел воздушно-бумажную изоляцию и свинцовую оболочку. В 1939 г. аналогичной конструкции кабель Дувр—Кале (45 км) был уже рассчитан на 12-канальную систему передачи в спектре частот 12—60 кГц. Центральную группу четверок 7Х4Х1,3 и повив из пар 16Х2Х1,3 разделял электромагнитный экран из чередующихся медных и стальных лент.

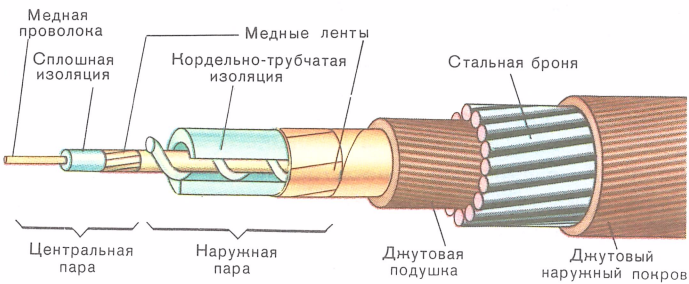
Проблему трансокеанской телефонии позволило решить создание в 1940-е годы подводных усилителей.

Чтобы не принимать на веру, а убедиться в справедливости сказанного, проделаем несложный расчет. Мощность электрического сигнала, посылаемого в линию микрофоном, 1 мВт. А если искусственно увеличивать начальную мощность? Во сколько раз? Мощность всех электростанций Советского Союза свыше трехсот миллионов киловатт. Округлим ее до $300 \cdot 10^6$ кВт, или 300Х $\times 10^9$ Вт, или 300 гигаватт (ГВт) и передадим по трансатлантической телефонной линии. Чувствительность телефона 1 мкВт = 10^{-6} Вт. Следовательно, собственное затухание линии может достигать $a = \lg P_0/P_l = \lg \frac{3 \cdot 10^{11}}{10^{-6}} =$ $= \lg 3 \cdot 10^{17} = 17{,}477$ Б. Самый низкий коэффициент затухания $\alpha = 0{,}006$ Б/км на частоте 800 Гц имел симметричный низкочастотный кабель с жилами диаметром 4 мм. Максимальная дальность связи по нему составила бы $l = a/\alpha = \frac{17{,}48}{6 \cdot 10^{-3}} = 2915$ км. Значит, даже такой колоссальной мощности, как 300 ГВт, не хватит для передачи одного телефонного разговора с европейского побережья до Ньюфаундленда. В данном примере передаваемая мощность уменьшается в 10 раз (затухание $a_1 = 1$ Б; $P_{l\,1} = 0{,}1P_0$) после прохождения сигналом участка линии $l_1 = 1/0{,}006 = 167$ км. Из этого вовсе не следует, как иног-

да ошибочно полагают, что через 1670 км мощность P_l уменьшится всего в 100 раз. Закон ее изменения другой: при увеличении l_1 в 10 раз (то есть l_2 = 1670 км) затухание a_2 составит 10 Б, следовательно, мощность P_{l_2} уменьшится по сравнению с P_0 не в 10×10, а в 10^{10}, то есть в 10 миллиардов раз. Вот почему без промежуточных усилителей телефонирование по океанским кабелям невозможно.

Первый промежуточный усилитель был встроен в 1943 г. в экспериментальный кабель, проложенный в Ирландском море между островами Англси и Мэн. По коаксиальному кабелю длиной 82 км организовывалось 48 каналов связи в диапазонах частот 16—208 и 312—504 кГц. В 1946 г. подводный усилитель был вмонтирован в кабель между Лоустофтом (Англия) и островом Боркум (ФРГ) в Северном море. Длина этой линии 366 км. Тем самым был наконец преодолен 200-километровый барьер дальности для подводных кабельных магистралей. По кабелю передавались частоты до 43,4 кГц; усилитель проработал 18 лет и вышел из строя лишь в 1964 г.

Оригинальна конструкция кабеля, проложенного в 1947 г. на линии Олдборо—Домбург (152 км). Это — триаксиальный кабель 3,25/12/43,2, сочетающий две ко-

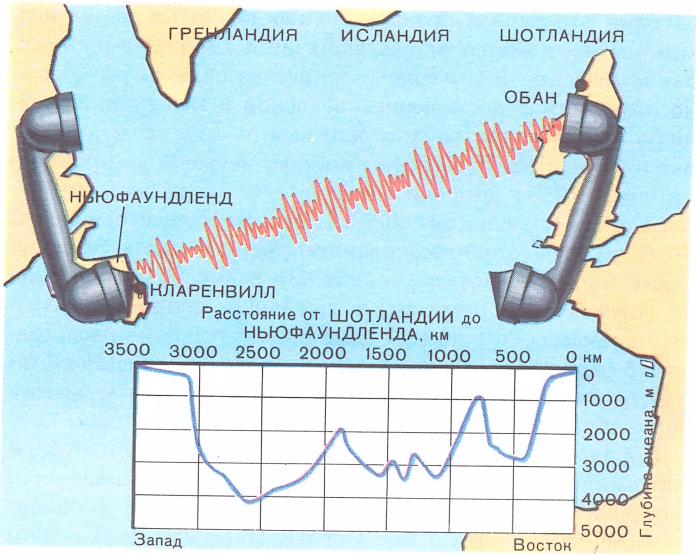


Триаксиальный подводный кабель, проложенный в 1947 г.

аксиальные пары: малую 3,25/12 и большую 12/43,2. Изоляция центральной пары — сплошная полиэтиленовая, а периферийной — кордельно-полиэтиленовая. Промежуточный проводник (внешний для малой пары и внутренний для большой) выполнен из нескольких медных лент. Кордель из полиэтилена диаметром 5,6 мм наложен на промежуточный проводник с шагом 25 мм; поверх корделя выпрессована полиэтиленовая трубка с наружным диаметром 43,2. Внешний проводник состоит из шести медных лент. Бронепокровы — обычного типа. По основной паре передавалось 84 телефонных разговора в спектрах частот 24—372 и 456—804 кГц.

В 1950—1956 гг. был проложен ряд преимущественно морских кабельных телефонных линий с промежуточными ламповыми усилителями, число которых составляло от одного до семи. Самой длинной (566 км) была линия Абердин (Шотландия) — Берген (Норвегия) 1954 г. За эти годы диапазон передаваемых частот расширился с 12—108 до 60—1164 кГц, а число каналов увеличилось с 24 до 120. Связь организовывалась в основном по двухпроводной однокабельной системе с разделением спектра частот по обоим направлениям передачи, например 24—168 и 208—352 или 24—264 и 312—552 кГц. Все эти кабели с усилителями двустороннего действия в механически жестких корпусах прокладывались на глубинах не более 500 м.

Одновременно изыскивались способы прокладки кабеля с усилителями на океанских глубинах. Для этого пришлось сконструировать усилители одностороннего действия, смонтированные в гибких цилиндрических корпусах, выполненных из сочлененных стальных колец. Такие усилители длиной около 2,5 м, диаметр которых (70 мм) лишь вдвое превышал диаметр кабеля (32 мм), встроенные в него заранее, при прокладке линии огибали шкивы кабелеукладочной машины, не препятствуя безостановочному ходу судна. В 1948 г. была осуществ-



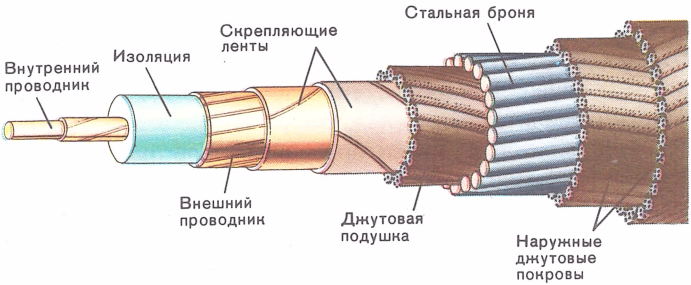
Рельеф дна океана на трассе глубоководного участка первого трансатлантического телефонного кабеля ТАТ-1

лена опытная прокладка 37-километрового кабеля с усилителями в районе Багамских островов на глубину до 3700 м, а в 1950 г. между Ки Уэст и Гаваной (свыше 200 км) были проложены два кабеля 3,52/12,7 с тремя гибкими усилителями в каждом на глубине до 1700 м.

С 1952 г. началось проектирование первой трансатлантической телефонной линии, а с 1954 г. — изготовление кабеля для нее. Двухкабельная линия была проложена в два приема: один кабель — в 1955 г., второй — в 1956 г. Официальное ее открытие состоялось 25 сентября 1956 г. — через 90 лет после установления постоянной телеграфной связи через Атлантику. Незаметно пролетело почти 30 лет.

Сегодня эта первая трансокеанская линия по своим возможностям кажется игрушечной, но в 1956 г. ее технико-экономическое и психологическое значение было огромно. Совместное достижение кабельной и электронной техники 1950-х годов трудно переоценить и в наши дни. Не раз приходилось отвечать на вопрос: неужели до прокладки линии 1956 г. не существовало телефонной связи между Европой и Америкой? До 1928 г. не существовало. С 1928 г. осуществлялась радиотелефонная связь, преимущественно на коротких волнах. Но радиосвязь подвержена атмосферным помехам, вызывавшим порой ее перерывы на несколько суток. А главное, что согласно распределению радиочастот было выделено всего 14 каналов связи между Великобританией и США и два канала — между Великобританией и Канадой.

Пропускная способность первой трансатлантической кабельной линии, названной ТАТ-1 (трансатлантическая телефонная первая), была вдвое больше — 36 каналов: 29 между Лондоном и Нью-Йорком, 6 между Лондоном и Монреалем; 36-й канал использовался для многоканального телеграфирования и служебной связи. В дальнейшем пропускная способность ТАТ-1 за счет более эффективного использования цепей была увеличена до 76 каналов.



Первый трансатлантический глубоководный телефонный высокочастотный кабель

Но главным было доказательство принципиальной и практической возможности осуществления телефонной связи по кабелям через океан на расстояние в несколько тысяч километров, прокладки кабеля с усилителями на глубинах в тысячи метров, обеспечения долговечной бесперебойной работы всех элементов системы.

Технические данные линии ТАТ-1 становятся достоянием истории. Напомним основные из них. Линия состояла из трех участков: глубоководного между городами Обан (Шотландия) и Кларенвилл (остров Ньюфаундленд) протяженностью 3620 км, короткого 100-километрового наземного, пересекающего Ньюфаундленд от Кларенвилла до Терренсвилла, и мелководного между Терренсвиллом и Сидни-Майнс (полуостров Новая Шотландия) длиной 510 км. Из Сидни-Майнс сигналы передавались в Нью-Йорк и Монреаль по наземным коаксиальным кабелям и радиорелейным линиям.

Внутренний проводник коаксиального кабеля 4,1/15,75 представлял собой центральную медную проволоку диаметром 3,36 мм, обмотанную в один слой тремя соприкасающимися медными лентами размером 3,76×0,37 мм. В полиэтиленовую изоляцию толщиной 5,8 мм было добавлено 5 % полиизобутилена, чтобы избежать растрескивания в морской воде. Внешним проводником служил повив из шести спирально навитых медных лент 8,1×0,41 мм, скрепленных медной 44,4×0,8 мм и полиэтиленовой лентами. В зависимости от условий прокладки применялись четыре варианта бронепокровов. Кабель для береговой прокладки отличался, кроме того, наличием электромагнитного экрана из пяти стальных лент, наложенных последовательными слоями.

На основном — глубоководном — участке трассы была принята двухкабельная система связи, оба кабеля располагались на расстоянии 40 км один от другого, по каждому велась передача в одном направлении в спектре

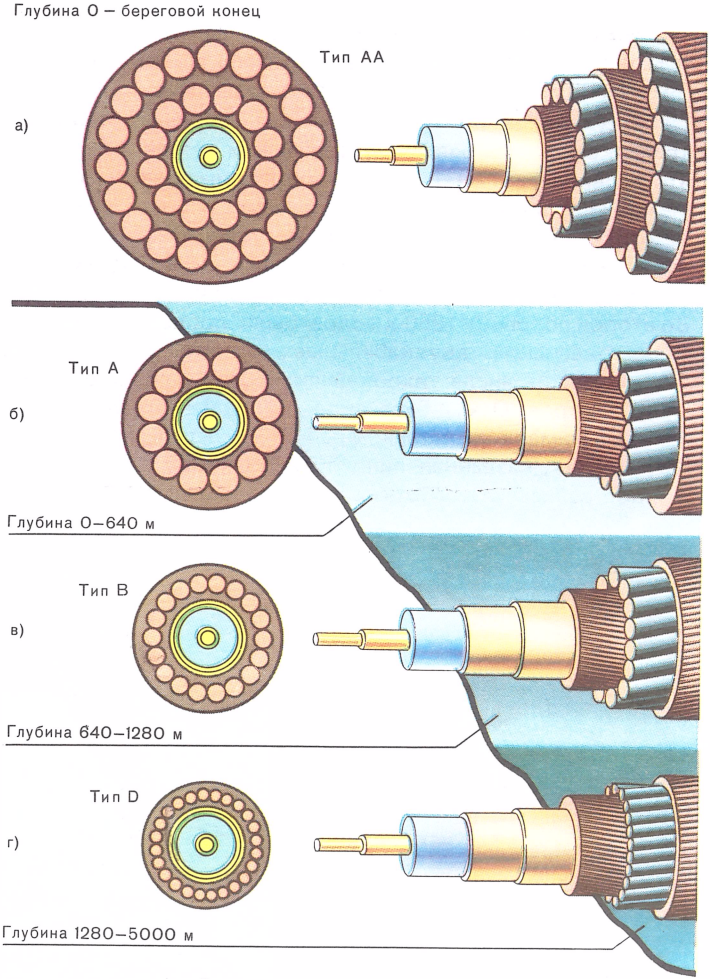
Таблица 15

Бронепокровы кабелей на линии ТАТ-1

Тип кабеля	Глубина прокладки, м	Тип бронепокрова	Число и диаметр бронепроволок, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Масса кабеля, т/км
Береговой	0	AA	12X7,6+19X7,6	67	18
Мелководный	0—640	A	12X7,6	48	6,5
Среднеглубинный	640—1280	B	18X4,2	36	3
Глубоководный	Свыше 1280	D	24X2,2	32	1,7

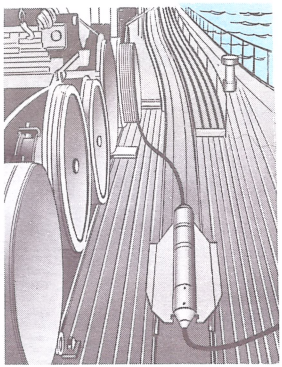
частот 20—164 кГц. На мелководном и наземном участках система связи была однокабельная с разделением спектра частот по направлениям: 20—260 и 312—552 кГц (60-канальная передача). Усиление усилителей на наивысшей частоте составляло 6 бел, или 60 дБ, коэффициент затухания кабеля был примерно 0,9 дБ на частоте 164 кГц, следовательно, длина усилительного участка на глубоководной трассе равнялась 70 км.

В каждый из двух кабелей было вмонтировано по 51 ламповому усилителю одностороннего действия. Для питания усилителей требуется постоянный ток: необходимо создать напряжение в анодной цепи и в цепи накала катода. Подводные усилители питаются дистанционно от источников, находящихся на береговых оконечных станциях. На линии ТАТ-1 по внутреннему проводнику каждого кабеля подавалось с одной оконечной станции напряжение плюс 2300 В, а с другой — минус 2300 В. Обратным проводом цепи питания служила морская вода.

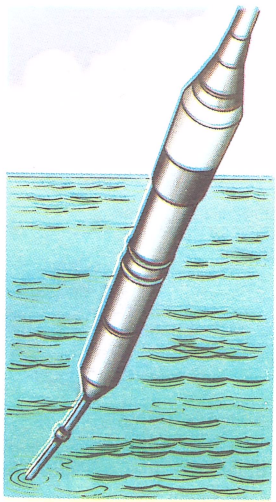


Варианты бронепокрова подводных кабелей 1950-х годов: ***а*** **— берегового;** ***б*** **— мелководного;** ***в*** **— среднеглубинного;** ***г*** **— глубоководного**

Самый трудный — первый шаг был сделан. В связи с открытием линии ТАТ-1 писали: "С этого момента одно из технических чудес XX века стало обычным явлением". Последующие годы ознаменовались бурным расцветом трансокеанской подводной телефонии. Несмотря на то что с вводом ТАТ-1 возможности телефонного обмена между Европой и США по сравнению с почти тридцатилетним периодом радиотелефонии удвоились, . . . этого сразу же оказалось мало. В очередной раз оправдалась поговорка об аппетите, который приходит во время еды. Во второй половине 1950-х годов были проложены еще четыре океанские двухкабельные магистрали, подобные ТАТ-1, в том числе тихоокеанская Сан-Франциско—Гонолулу (остров Оаху, Гавайские острова) и трансатлантическая Пенмарк (Бретань, Франция) — Кларенвилл (Ньюфаундленд), названная линией ТАТ-2 (1959 г.). Одновременно велись разработки глубоководных однокабель-



а)



б)

Прокладка глубоководного кабеля с усилителями в жестком корпусе: *а* — прохождение кабелеукладочной машины; *б* — вход в воду

ных систем с усилителями двухстороннего действия, электрические схемы которых удалось разместить в цилиндрах диаметром 170 мм и длиной 4 м. В 1957 г. была проложена на глубине до 2700 м средиземноморская однокабельная магистраль Марсель—Алжир длиной 890 км с 28 усилителями, предназначенная для 60-канальной системы передачи.

Совершенствовались не только конструкции кабелей и усилителей, но и кабелеукладочные средства. Была сконструирована пятишкивная кабелеукладочная машина и предложен такой способ прокладки кабеля, при котором усилитель в механическом жестком корпусе не должен был огибать шкивы. Шкивы огибал специальный обходной, так называемый байпасный трос, прикрепленный к кабелю в двух точках, а отрезок кабеля с усилителем проходил мимо шкивов. Усилитель располагался на тележке, которая двигалась по рельсовому пути.

БЕЗ БРОНИ

Решающим аргументом в пользу однокабельных подводных систем, на сооружение которых расходуется меньше капиталовложений, чем на двухкабельные, явилось создание принципиально новой оригинальной конструкции глубоководного кабеля без брони. Впервые примененная в 1851 г. на морском кабеле Дувр — Кале стальная проволочная броня целый век считалась неотъемлемой частью всех подводных кабелей. Кабель без брони казался немыслимым. Но вот в 1951 г., ровно через 100 лет после внедрения брони, английский инженер Роберт Алстон Брокбэнк предложил отказаться от нее. На изобретенный новый тип глубоководного кабеля он получил британский патент № 703782 (заявлен 16 августа 1951 г.).

Эра бронированных глубоководных кабелей кончилась. Началась эра кабелей без брони. "В чем дело? — недоумен-

но может спросить читатель. — Неужели сто лет человечество заблуждалось относительно брони?" Вспомним, как родилась броня. Первый морской телеграфный кабель, пересекший в 1850 г. Ламанш, был через несколько часов оборван рыбачьим неводом. Всем последующим кабелям, защищенным повивом из стальных проволок, уже не страшны были ни сети рыбаков, ни случайные удары корабельных якорей, ни трения о камни во время приливов и отливов. Но ведь все эти опасности угрожают только прибрежным кабелям и кабелям, проложенным на мелководье. На глубине нескольких тысяч метров кабель не достанут ни якоря, ни тралы, он спокойно лежит на мягкой илистой подушке, постепенно слой ила заносит его сверху. Жизнь такого кабеля лишена каких-либо треволнений. Для чего же глубоководному кабелю броня? Как ни парадоксально, но броня нужна всего лишь на несколько часов, только на время прокладки линии, да иногда на случай подъема кабеля с целью его ремонта.

Итак, всего несколько часов работы и десятилетия, то есть сотни тысяч часов, бездействия. Но без стальных проволок невозможен ни "вход" кабеля в пучины океана, ни "выход" из тысячеметровых глубин. Только благодаря им не разрывается от собственного веса "отрезок" кабеля длиной в несколько километров, висящий между судном и дном океана. Убедимся в этом сами, пользуясь простейшими соотношениями. Плотность меди почти 9 т/м^3, или г/см^3, следовательно, 1 км медной проволоки сечением 1 мм^2 весит около 90 Н (кгс) в воздухе и 80 Н в воде. Прочность на разрыв составляет для мягкой медной, так называемой электротехнической проволоки марки ММ 280 Н/мм^2 (275 МПа). Свободно висящая медная проволока не разорвется от собственного веса до тех пор, пока он будет меньше ее разрывной прочности, что соответствует длине проволоки в воде, равной 3,5 км.

При большей длине медная проволока не выдержит.

Это в спокойных условиях. А ведь океанский кабель прокладывается с движущегося судна, при том иногда в штормовую погоду. Висящий за кормой кабель испытывает порой рывки, сила которых значительно превосходит силу натяжения от собственного веса. Вспомним, сколько роковых обрывов претерпел кабель во время десятилетних попыток прокладки первой трансатлантической телеграфной линии. Полиэтиленовая изоляция ложится на медные проводники дополнительным грузом.

Как же опустить без обрыва кабель на четыре-пять и более километров? Тут приходит на помощь спасительная стальная броня. Удельный вес стали $78 \cdot 10^3$ Н/м^3, а разрывная прочность бронепроволок 1500 — 2000 Н/мм^2 (1500 — 2000 МПа или 1,5 — 2 ГПа). Отрезок проволоки сечением 1 мм^2 и длиной 1 км весит в воде 68 Н. Значит, стальная проволока выдержит в воде, не разрываясь, вес собственной 25-километровой длины. А это уже не только превосходит самые большие океанские глубины (11500 м), но и обеспечивают солидный запас прочности.

Именно броня в течение столетия являлась той единственной опорой, которая удерживала тысячи килограмм опускающегося с судна кабеля, не давая ему разорваться. И все же очень досадно покрывать броней кабель только ради того, чтобы благополучно доставить его на дно. Стоит лишь кабелю улечься на свое глубинное ложе, как броня на долгие годы, а большей частью навсегда становится совершенно ненужной. Мертвый капитал! И какой огромный! Стальная броня весит в среднем столько, сколько все остальные элементы кабеля. Значит, лишь на 50% броня "работает" на сердечник кабеля, половина ее мощи расходуется на удержание самой себя. Поистине заколдованный круг!

Масса брони на 1 км глубоководного кабеля около 1000 кг. За 135 лет в морях и океанах проложено более миллиона километров подводных кабелей. Следователь-

но, в морских глубинах бездействует свыше миллиона тонн высококачественной стальной проволоки.

Но и это еще не все. Наличие брони усложняет прокладку кабеля. Стальные проволоки накладываются на кабель по спирали в каком-либо одном направлении — правом или левом. Когда с кормы судна свободно свисает длинный конец кабеля, броня, наложенная, предположим, вправо, стремится раскрутиться влево и тем самым закручивает кабель вокруг его оси на сотни и тысячи оборотов. Вследствие этого кабель может быть свернут кольцами, запутан и даже поврежден. Особенно опасно подобное закручивание для кабелей со встроенными усилителями. Именно поэтому укладка на большие глубины усилителей двустороннего действия в жестких корпусах в течение ряда лет оказывалась вообще невозможной: при касании дна часто происходил излом в месте ввода кабеля в усилитель. Устранить явление закручивания можно было, наложив второй повив бронепроволок в направлении, противоположном направлению первого, однако это чересчур удорожило и утяжелило бы кабель, усложнило его производство и прокладку.

Оригинальное решение Брокбэнка — еще один яркий пример красоты инженерной идеи в области кабельной техники. Он учел явление поверхностного эффекта — вытеснение тока к периферии при передаче высоких частот — и предложил делать внутренний проводник трубчатым, а внутри трубки располагать стальной трос из тонких высокопрочных проволок. На трос он возложил функцию несущего элемента — прежнюю функцию брони. Центральный несущий трос имеет меньшую массу, чем расположенная по периферии кабеля броня, поэтому первоначально новый кабель был назван "легковесным" или "облегченным". Более удачным представляется нам термин "безбронный".

В отличие от брони, несущий трос скручивается повивами. Можно так подобрать диаметры проволок, направления и шаги скрутки повивов, чтобы полностью сбалансировать трос от кручения и благодаря этому безостановочно прокладывать кабели с жесткими усилителями на любую глубину. Кабель с несущим тросом во всех отношениях экономичнее кабеля с броней: либо он имеет меньшие наружный диаметр и массу за счет исключения брони, либо при одинаковых наружных диаметрах у него меньше коэффициент затухания (за счет увеличения размеров коаксиальной пары, покрытой только полиэтиленовой оболочкой).

После опытной прокладки в 1960 г. гибридного кабеля — с несущим тросом и броней — на линии Мидлсбро (Англия) — Гетеборг (Швеция) длиной 980 км безбронный кабель был применен на третьей по счету трансатлантической линии "Кантат", соединившей в 1961 г. Великобританию с Канадой также через Ньюфаундленд. В 1962—1963 гг. была проложена тихоокеанская магистраль длиной 15 000 км от Ванкувера (Канада) до Сиднея (Австралия) через Гавайские острова, острова Фиджи и Новую Зеландию. Линия на 95% была выполнена безбронным и только на 5% бронированным кабелем (на глубинах менее 700 м).

Что представляла собой конструкция первых безбронных кабелей начала 1960-х годов? Рассмотрим американский вариант — кабель *SD* 8,4/25,4. Центральный трос скручивался из 41 проволоки пяти различных диаметров (от 0,8 до 1,9 мм) тремя однонаправленными повивами. Поверх троса диаметром 7,4 мм накладывалась продольно и сворачивалась в трубку медная лента толщиной 0,6 мм. Продольный шов внутреннего проводника сваривался электродуговым способом в атмосфере смеси инертных газов аргона и гелия, после чего трубка несколько осаживалась и плотно охватывала трос. Поверх полиэти-

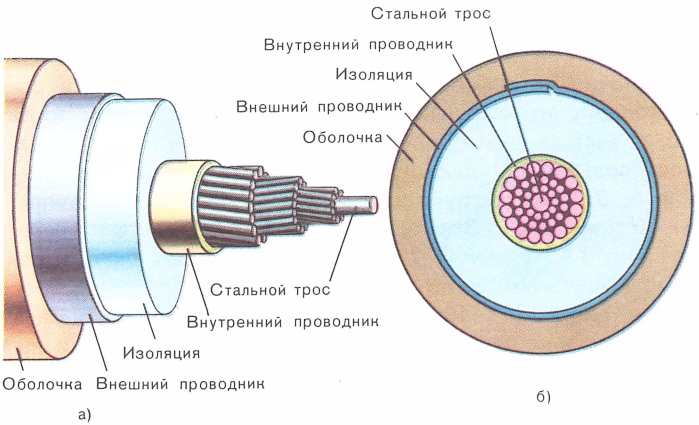
Таблица 16

Бронированный и безбронный глубоководные коаксиальные кабели

Тип кабеля	Конструкция несущего элемента	Диаметр по изоляции, мм	Наружный диаметр, мм	Вес, кН/км		Разрывная прочность, кН	Разрывная длина в воде, км	Коэффициент затухания на частоте 608 кГц, дБ/км
				в воздухе	в воде			
С броней 4,1/15,75	24Х Х2,2 мм	15,75	32,2	17	9,8	127	13	1,73
С центральным тросом 8,2/25,2	19Х Х1,2 мм+ +24Х Х0,8 мм	25,2	33,0	12,1	3,3	76	23	1,14

леновой изоляции диаметром 25,4 мм накладывались медная лента внешнего проводника (продольно) и полиэтиленовая оболочка. Наружный диаметр кабеля был равен диаметру бронированного кабеля с меньшим размером коаксиальной пары, а именно 4,1/15,75.

В английском варианте конструкции кабеля 8,2/25,2 трос скручивался из 43 проволок, также наложенных тремя повивами поверх центральной (1 + 6 + 12 + 24), но с чередованием их направлений. Толщина медной ленты внутреннего проводника 0,3 мм. В отличие от кабеля *SD*, внешний проводник английского кабеля, условно назван-



Безбронный кабель:
а **— общий вид;** ***б*** **— поперечное сечение**

ного "Марк-1", был из шести спирально наложенных в один повив алюминиевых лент. Это облегчало кабель и увеличивало его разрывную длину в воде, но и одновременно (в совокупности с несколько более тонким внутренним проводником) несколько ухудшало параметры передачи по сравнению с американским вариантом — на 12 — 15% возрастал коэффициент затухания.

Дальнейшее развитие подводных магистралей шло по пути усовершенствования конструкции безбронного кабеля и расширения спектра передаваемых по линии частот. В направлении шкалы "эф" из всех линий проводной связи самыми стремительными темпами за последние четверть века развивались именно подводные. Дабы у читателей было ясное представление о числе каналов в системах передач по океанским и многим морским кабелям, следует иметь в виду, что начиная с 1960-х годов частотная полоса, отводимая на один телефонный канал,

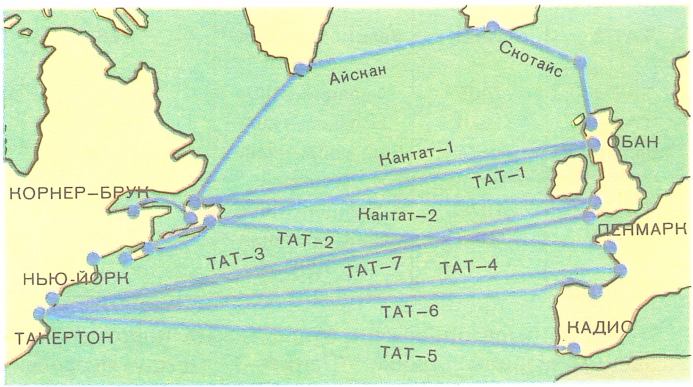
сужена с 4 до 3 кГц (200 — 3050 Гц). Качество телефонирования, несмотря на небольшие потери, остается достаточно удовлетворительным, а эффективность дорогостоящих магистралей возросла на 33%, так как только за счет замены оборудования оконечных станций удалось повысить пропускную способность линий в отношении 4 : 3 (вместо групп из 12 каналов по 4 кГц — группы из 16 каналов по 3 кГц). Таким образом, системы передачи по ТАТ-1 и ТАТ-2 вместо 36-канальных были переоборудованы в 48-канальные.

В период 1961—1965 гг. был сделан скачок по шкале максимальной передаваемой частоты с 0,16 до 0,6 и затем до 1 МГц. Естественно, возросло затухание кабелей и вдвое сократились длины усилительных участков. Чтобы обеспечить дистанционным питанием большее число последовательно включенных усилителей, постоянное напряжение береговых батарей было повышено с 2—2,5 до 7 кВ. Подобное стало возможным благодаря разработке и применению особо чистого изоляционного полиэтилена с меньшими диэлектрическими потерями. Допустимое число промежуточных усилителей возросло до 185, что позволило прокладывать кабели непосредственно из Европы в США без переприема в Ньюфаундленде. Такими были 128-канальные линии ТАТ-3 (Великобритания — США, 1963 г., 6500 км) и ТАТ-4 (Франция—США, 1965 г., 6650 км), а также тихоокеанская линия "Транспак" (1964 г.) между США и Японией через Гонолулу (Гавайские острова), атоллы Мидуэй, Уэйк и остров Гуам.

Следующему шагу по шкале частот способствовал переход во второй половине 1960-х годов с ламповых усилителей на полупроводниковые, потребляющие в 5—10 раз меньшую мощность, благодаря чему число их в линии могло быть увеличено до 400. После прокладки десяти морских линий с числом каналов от 420 до 720 в 1970 г. 6400-километровая линия ТАТ-5 соединила США

с Испанией. По ней осуществляется передача 845 телефонных каналов в спектре частот шириной 6 МГц. В связи со столь значительным расширением спектра частот диаметр коаксиальной пары (по изоляции) был увеличен до 38,1 мм (1,5 дюйма), а наружный диаметр безбронного кабеля стал 44,5 мм. При длине усилительного участка 18,5 км обеспечивалась дальность связи в 7400 км. Стоимость одного канало-километра в линии ТАТ-5 уменьшилась по сравнению с ТАТ-1 в 16 раз.

Десятилетие 1970-х годов принесло дальнейшее увеличение диаметра подводной коаксиальной пары до 43,2 мм (1,7 дюйма), расширение спектра передаваемых частот сначала до 12—14, затем до 25—30 и даже до 45 МГц, соответствующее укорочение усилительных участков до 12; 9 и 6 км. В 1974 г. была положена 1840-канальная линия "Кантат-2" между Великобританией и Канадой, а в 1976 г. Францией и США соединила линия ТАТ-6 на 4000 каналов. Ее пропускная способность оказалась в 111 раз больше, чем линии ТАТ-1 1956 г. В 1970-е годы каждая новая трансатлан-



Карта трансатлантических телефонных кабельных линий

тическая магистраль по своим возможностям превосходила все предыдущие, вместе взятые.

Когда в 1978 г. после 22 лет безотказной работы линия ТАТ-1 просто была снята с эксплуатации, ее доля в общей пропускной способности всех трансатлантических линий составляла менее 1 %. Вот почему это событие, в отличие от ввода ТАТ-1 в эксплуатацию, прошло совершенно незамеченным. И, пожалуй, несправедливо. Первая трансатлантическая кабельная телефонная линия заслуживает доброго упоминания.

Таблица 17

Трансатлантические подводные кабельные телефонные линии

Условное наименование	Год прокладки	Соединяемые страны	Номинальное число 3-кГц каналов
ТАТ-1	1956	Великобритания—США	48
ТАТ-2	1959	Франция—США	48
"Кантат-1"	1961	Великобритания—Канада	80
ТАТ-3	1963	Великобритания—США	128
ТАТ-4	1965	Франция—США	138
ТАТ-5	1970	Испания—США	845
"Кантат-2"	1974	Великобритания—Канада	1840
ТАТ-6	1976	Франция—США	4000
ТАТ-7	1983	Великобритания—США	4000

В 1977 г. была проложена относительно короткая (по океанским меркам) линия "Пенкан-3" между Испанией и Канарскими островами. Примечательна она не длиной,

а системой передачи на 5500 каналов в спектрах частот 1,9—19 и 27,2—44,3 МГц.

Около 250 подводных кабельных магистралей общей протяженностью примерно 300000 км (немного нехватает до Луны!) пересекают важнейшие моря и океаны. Все они выполнены высокочастотными коаксиальными кабелями со сплошной полиэтиленовой изоляцией. Суммарное количество организуемых на их базе телефонных каналов выросло с 1965 по 1981 г. в 30 с лишним раз — с 4200 до 136000. Любопытно, что до 1951 г. доходы от международного телеграфного обмена превышали доходы от международной телефонии. Однако с 1951 г. по 1978 г. доходы от телефонии увеличились с 22 до 71 %.

В начале 1970-х годов прогнозировалось освоение на подводных магистралях в 1980-е годы систем передачи на 10000—15000 каналов. Однако, как и в области подземных кабелей связи, произошла переориентация также на волоконно-оптические подводные кабели, опытные прокладки которых начались в первой половине 1980-х годов.

История подводных кабелей связи, которая насчитывает 135 лет, может быть поделена на четыре периода:

Период I — 1850—1900 гг. — телеграфные одножильные морские и океанские кабели с гуттаперчевой изоляцией.

Период II — 1900—1930 гг. — телефонные низкочастотные симметричные морские кабели с гуттаперчевой и воздушно-бумажной изоляцией.

Период III — 1930—1950 гг. — телефонные морские высокочастотные коаксиальные кабели с изоляцией из парагутты (1930-е годы) и полиэтилена (1940-е годы), без промежуточных усилителей.

Таблица 18

Поколения океанских высокочастотных коаксиальных кабелей и многоканальных систем передачи по ним

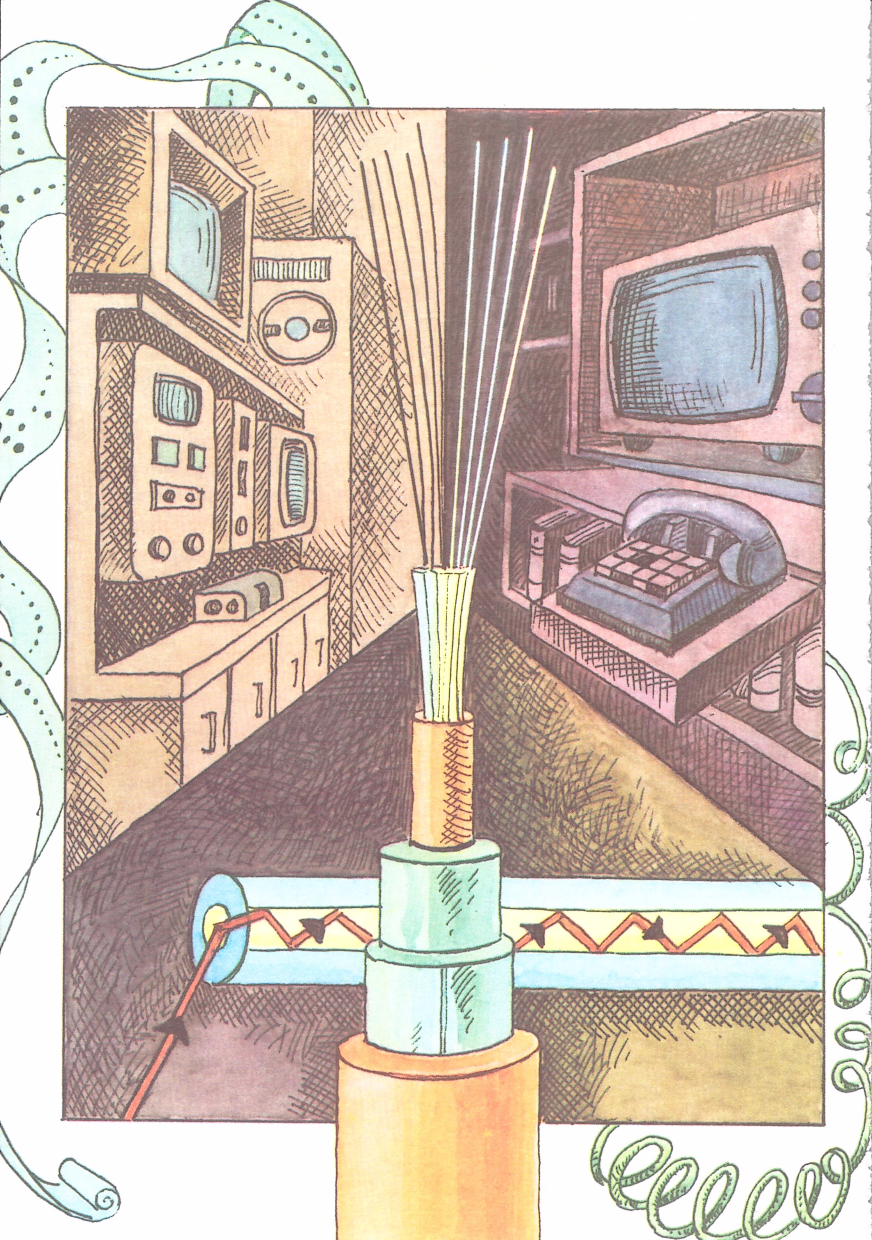
Годы	Поколение кабелей и систем передачи	Тип кабеля	Диаметры, мм			Системы передачи (число 3-кГц каналов)	Спектр передаваемых частот, МГц
			троса	проводников			
				d	D		
1956–1960	Первое	Бронированный	—	4,1	15,75	48	0,16
1961–1965	Второе	Безброн.	7,4–7,6	8,0–8,4	25,2–25,4	128–360	1–3
1966–1970	Третье	То же	7,4–7,6	8,0–8,4	25,4–38,1	640–845	5–6
1971–1975	Четвертое	—''—	7,4–7,6	То же	То же	1600–1840	12–14
1976–1985	Пятое	—''—	8,4–8,5	9,2–9,4	43,2	3440–5520	25–45

Период IV — телефонные морские и океанские высокочастотные кабели со сплошной полиэтиленовой изоляцией, с промежуточными усилителями.

Этот последний период может быть поделен на три этапа. Самый короткий из них длился с 1950 г. по 1956г. Это был этап морских линий протяженностью от 100 до 600 км с числом промежуточных ламповых усилителей от 1 до 7 в зависимости от длины линии и спектра передаваемых частот. Следующий этап начался в 1956 г. и закончился в 1968 г. Его можно назвать этапом интенсивной прокладки океанских и в том числе трансокеанских кабельных линий протяженностью до 6500 км с числом ламповых усилителей до 185. Для первой его фазы характерны еще бронированные глубоководные кабели, но для второй, начиная с 1961 г., кабели с несущим тросом без брони. Третий этап, длящийся с 1968 г. по настоящее время, отличается применением безбронных кабелей разных поколений и полупроводниковых усилителей.

Наступает V период — период стекловолоконных оптических кабелей.

Подобно тому как во второй половине XIX века первые подводные одножильные кабели стимулировали создание всемирной сети телеграфной связи, высокочастотные коаксиальные кабели середины XX века позволили решить проблему глобальной телефонной связи.



Глава 9

НЕМНОГО О БУДУЩЕМ

И какие б нынче выси
Не были покорены,
Вечно странствующей мысли
Где-то новые видны.

Николай Грибачев

СОПЕРНИЧЕСТВО, КОТОРОМУ НЕТ КОНЦА

Отношение человеческого общества к кабелям связи двойственное. С одной стороны, признание их необходимости и восхищение неуклонно возрастающими возможностями. С другой стороны, досада: столько материала укладывать в землю или под воду, где он десятилетиями лежит и "не работает". Любопытна сама концепция "работает — не работает". Электродвигатель "работает", трансформатор "работает", диск номеронабирателя телефона и искатели на АТС "работают". Только неподвижный и невидимый кабель почему-то "не работает".

А материалов на него действительно расходуется немало. Поэтому, когда было изобретено средство беспроволочной связи — радио, ученые не замедлили противопоставить его связи по проводам.

Известно высказывание английского электротехника профессора Уильяма Эйртона на лекции по основам подводной телеграфной связи в Лондонском королевском обществе 15 февраля 1897 г., то есть менее чем через два года после исторического доклада А. С. Попова на заседании Русского физико-химического общества: "Нет сомнения, что придет день, когда. . . медную проволоку, гуттаперчевую изоляцию и стальную броню поместят в музей антикварных вещей. В будущем, если кто-нибудь захочет поговорить со своим другом, он свяжется с ним

посредством совершенных аппаратов, работающих с помощью электромагнитных колебаний, и тут же получит ответ. . ."

Заключительная часть прогноза оправдалась полностью. Широко поставленная на службу человечеству радиосвязь по праву занимает место в первом ряду знаменательных достижений XX века. Что же касается перехода кабелей в антиквариат, профессор Эйртон явно поторопился. Хотя каждый новый успех радиосвязи и ставил под сомнение дальнейшее существование кабелей, а порой даже однозначно предрекал их бесперспективность, все-таки, вот уже на протяжении почти 90 лет оба вида связи — проводная (кабельная) и беспроволочная (радио) соперничают между собой, причем с переменным успехом.

Историю этого соперничества наглядно иллюстрирует, в частности, развитие межконтинентальной трансокеанской связи. Первыми, как известно, пересекли Атлантический океан телеграфные кабели. Не будем говорить об их превосходстве: радиосвязь к тому времени еще не была изобретена. Скачок через Атлантику радио сделало 12 декабря 1901 г., когда между Старым и Новым Светом было проложено уже полтора десятка подводных кабелей. С помощью проволочной антенны, прикрепленной к воздушному змею, запущенному неподалеку от города Сент-Джонс на острове Ньюфаундленд, Гульельмо Маркони удалось принять радиотелеграфное сообщение, посланное из Польдю на полуострове Корнуэлл (южная оконечность Англии). Сообщение — буква S, обозначаемая на языке телеграфистов тремя точками, — было послано на волне длиной 1,5 км (частота 200 кГц).

И все же в первой четверти XX века телеграфная связь через океаны осуществлялась в основном по подводным кабелям. Раунд был за ними. Тем более, что первая коммерческая радиотелеграмма была послана через Атлантику только 1 марта 1920 г.

Следующий раунд выиграла радиосвязь. Это был период безраздельного господства трансокеанской радиотелефонии. Даже через 50 лет после изобретения Белла передать телефонный разговор из Европы в Америку было все еще невозможно. А ведь к тому времени в Северной Америке было почти 19 миллионов, а в Европе 8 миллионов телефонов.

В феврале 1927 г. вступила в действие первая гражданская радиотелефонная линия Лондон — Нью-Йорк. Передачи велись на волнах длиной около 6 км. (Исторической правды ради следует сказать, что человеческая речь впервые была передана через океан усилиями военных радистов 23 октября 1915 г. из Арлингтона, штат Виргиния, и принята на Эйфелевой башне в Париже.) Вскоре предпочтение было отдано более эффективной коротковолновой радиотелефонной связи. Сразу же возникло предположение о ненужности дальнейшего совершенствования подводных кабельных линий.

Однако, несмотря на почти тридцатилетнюю монополию трансокеанской радиотелефонии, кабельная техника не сложила оружия. Вступлением в строй трансатлантической кабельной линии ТАТ-1 в 1956 г. начался третий раунд, раунд явного превосходства подводных телефонных кабелей. Превосходства, длившегося десятилетие и основанного как на большей пропускной способности, так и на большей надежности кабельных линий связи. За период 1956—1965 гг. количество ежесуточных телефонных разговоров между Англией, с одной стороны, и США и Канадой — с другой, выросло с 407 до 3831, то есть в 9—10 раз.

Казалось бы, перспективы дальнейшего развития трансокеанских кабельных магистралей были очевидны и не вызывали сомнений. Но всего лишь через год после официального открытия первой трансатлантической телефонной кабельной линии в мире произошло эпохальное собы-

тие: 4 октября 1957 г. в Советском Союзе был запущен первый искусственный спутник Земли — началась космическая эра. Еще через несколько лет были предприняты запуски экспериментальных искусственных спутников связи. Сначала это были пассивные спутники с ненаправленным "радиозеркальным" отражением сигналов, посылаемых наземной станцией. Затем активные спутники, оснащенные аппаратурой для приема, усиления и направленной передачи сигналов радиосвязи.

С 1965 г. ведется регулярная эксплуатация искусственных спутников связи. Первый советский активный связной спутник "Молния-1" был запущен 23 апреля 1965 г. Спутники сразу же превзошли подводные кабели по числу организуемых каналов связи. Первый зарубежный коммерческий спутник "Early Bird" — "Ранняя пташка" (1965 г.) был рассчитан на одновременную передачу 240 телефонных разговоров, тогда как максимальная передающая способность кабелей того времени была 128 разговоров. Снова была поставлена под сомнение перспективность дальнейшего развития подводных кабельных линий. Казалось, дни их сочтены. Начался четвертый раунд.

Аналогично, хотя и с вариациями, происходило соперничество на суше. На памяти поколения, к которому принадлежит автор, дискуссии на тему: "Кабельные или радиорелейные линии дальней связи?"

Парадоксально, но факт, что достижения радиосвязи приводили в конечном счете не к отрицанию кабелей, а наоборот, к ускорению темпов их прогресса. Соперничество явно шло кабельной технике на пользу. Симптоматичны заголовки статей в технических журналах 1960-х годов: "Битва между кабелями и спутниками", "Кабели принимают вызов спутников", "Кабели поражают спутники". Как видно из таблицы, если за период 1965—1980 гг. число телефонных каналов, организуемых по спутнико-

вым системам связи, выросло в 50 раз, то и кабельная техника не осталась в долгу: соответствующий показатель для подводных кабелей достиг 43.

Таблица 19

Рост количества телефонных каналов, организованных по подводным кабелям и спутникам

Год	Подводная кабельная линия		Спутник связи	
	Наименование	Число каналов	Наименование	Число каналов
1956	ТАТ-1	48	—	—
1961	"Кантат-I"	80	—	—
1962	"Компак"	80		—
1963	ТАТ-3	128	—	—
1964	"Транспак-1"	128	—	—
1965	"Пенкан-1"	160	"Ранняя пташка"	240
1966	—	—	Интелсат II	240
1968	САТ-1	360	Интелсат III	1200
1970	ТАТ-5	845	—	—
1971	"Пенкан-2"	1840	Интелсат IV	5000—6000
1974	"Кантат-2"	1840	—	—
1976	ТАТ-6	4000	Интелсат IV—А	6000*
1977	"Пенкан-3"	5520	—	—
1980	—	—	Интелсат V	12000*

*Плюс два телевизионных канала.

Бесспорным преимуществом систем спутниковой связи перед подводными кабелями (но не подземными!) является возможность передач телевизионного вещания. К числу их преимуществ относят обычно и возможность исполь-

зования одного спутника для передач в десятках направлений. Подводная кабельная трансокеанская линия действительно соединяет только два пункта, но в этих оконечных пунктах она включается в континентальную кабельную сеть. Во всяком случае, ход поединка в очередном раунде можно считать ничейным. За период 1962—1978 гг. доля капитальных вложений на строительство подводной кабельной сети связи была на 10% больше, чем на сооружение спутниковых систем. К началу 1980-х годов средняя стоимость одного телефонного канала, организуемого по подводным кабелям, была в 4 раза меньше, чем по спутниковым линиям. Объясняется это как значительно большим сроком службы подводных кабелей — 25 лет против в среднем 7 лет для спутников, — так и значительно меньшими расходами на эксплуатацию кабельных линий. Ежегодные амортизационные отчисления составляют для кабелей 4%, для спутников 14%, а эксплуатационные расходы соответственно 1 и 10%.

Ахиллесовой пятой кабелей как подводных, так и особенно подземных, является их поистине огромная материалоемкость. Человечество не хочет, да и не может мириться с колоссальными затратами материалов, идущих на изготовление кабелей, и в первую очередь дефицитных цветных металлов — меди и свинца. Правда, послевоенный период принес значительное избавление от монополии свинца как материала кабельных оболочек. Широко внедряются оболочки из пластмасс, главным образом полиэтилена, и менее дефицитных металлов — алюминия, стали. При этом алюминиевые и стальные гофрированные оболочки не только являются заменителями свинцовой, но и обладает рядом лучших свойств.

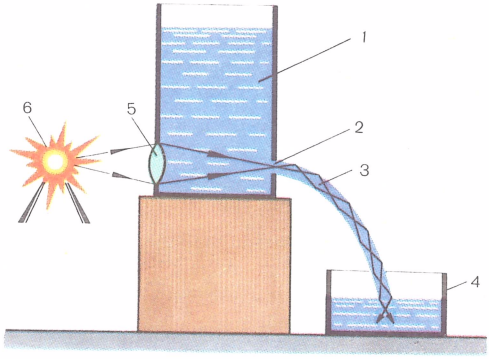
Что же касается медной проволоки — этого токопроводящего элемента любого кабеля связи, — то она попрежнему применяется практически почти монопольно, в очень больших количествах.

Весьма приближенные косвенные расчеты позволяют высказать предположение, что в мировой подземной, подводной и подвесной кабельной сети связи используется около 15 миллионов тонн меди. Во всех странах капиталистического мира ее добывается 7—7,5 миллионов тонн в год. С каждым годом потребление меди возрастает, а добыча ее между тем становится все сложнее и требует все больших затрат труда. Чтобы добыть одну тонну меди, приходится извлечь из недр земли и переработать почти 100 тонн руды. Вот почему специалисты упорно занимаются проблемой экономии этого древнейшего металла.

ЧУДО-ВОЛОКНО

Дебют. Мысль об использовании вместо медных жил стеклянных волокон была высказана два десятка лет тому назад. Сегодня публикации о чудесном волокне не сходят со страниц технических журналов. Да и не только технических. Все чаще обращаются к волоконным световодам газеты, научно-популярные и просто популярные издания, телевидение, радио. Не случайно три предыдущие главы заканчивались стереотипной фразой: ". . . в перспективе применение. . . волоконно-оптических кабелей".

Историю световодов принято начинать с Джона Тиндаля (1820—1893). Этот английский физик и альпинист, блестящий экспериментатор и лектор, популяризатор науки продемонстрировал в 1870 г. оригинальный опыт. Из сосуда *1* через кран *2* вытекала вода и сплошной струей *3* падала в чашку *4*. Вставленная в стенку сосуда против крана линза *5* фокусировала световой пучок от помещенной снаружи угольной дуги *6* и направляла его внутрь вытекающей струи. Свет распространялся по струе воды



Водяной световод в опыте Тиндаля (1870 г.)

благодаря многократным внутренним отражениям лучей на границе вода — воздух. В опыте Тиндаля струя на всем протяжении светилась. Принцип жидкостных световодов широко используется теперь при цветной подсветке струй фонтанов.

Согласно законам геометрической оптики луч света, распространяющийся прямолинейно в однородной среде /, на границе двух сред / и // изменяет свое направление: часть световой энергии отражается и возвращается в среду / — явление отражения; если среда // прозрачна, то часть света может пройти через границу — явление преломления. Углы, которые образуют падающий, отраженный и преломленный лучи с перпендикуляром к границе сред, восстановленным в точке падения, называют соответственно углами падения $\theta_{пад}$, отражения $\theta_{отр}$ и преломления $\theta_{плм}$. Угол падения равен углу отражения $\theta_{пад} = \theta_{отр}$. Закон преломления, установленный в 1621 г. нидерландским астрономом и математиком Виллебрордом Снеллиусом (1580—1626), записывается так:

$$\sin\theta_{\text{пад}}/\sin\theta_{\text{плм}} = n_{\text{II}}/n_{\text{I}} = n,$$

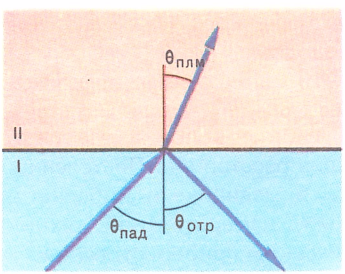
где n_{I} и n_{II} — абсолютные показатели преломления сред / и // относительно вакуума;

$$n_i = \sqrt{\mu_{ai}\,\epsilon_{ai}}\,/\sqrt{\mu_0\epsilon_0} = \sqrt{\mu_{ri}\,\epsilon_{ri}}\,,$$

$n = \sqrt{\mu_{r\,\text{II}}\,\epsilon_{r\,\text{II}}/\mu_{r\,\text{I}}\,\epsilon_{r\,\text{I}}}$ — относительный показатель преломления двух сред (в данном случае // относительно /).

Когда рассматриваются среды, относительная магнитная проницаемость которых $\mu_r = 1$, как это, в частности, имеет место у стекол и полимеров, то относительный показатель преломления равен отношению абсолютных или относительных диэлектрических проницаемостей обеих сред $n = \sqrt{\epsilon_{\text{II}}/\epsilon_{\text{I}}} = \sqrt{\epsilon_{r\,\text{II}}/\epsilon_{r\,\text{I}}}$.

Среды с бóльшим и меньшим абсолютными показателями преломления называются оптически более плотной и оптически менее плотной. При переходе из оптически более плотной (/) в оптически менее плотную (//) среду ($n_{\text{I}} > n_{\text{II}}$) световой луч может полностью отражаться об-



Падение светового луча на границу двух сред

ратно в среду I, не преломляясь. Угол падения $\theta_{пад}$, начиная с которого происходит полное внутреннее отражение световой энергии от границы раздела двух сред, называется предельным углом полного внутреннего отражения ($\sin \theta_{пр} = n_{II}/n_{I} = n$, так как при этом $\theta_{плм} = 90°$ — луч скользит по поверхности раздела двух сред — и $\sin \theta_{плм} = 1$). У воды $n = 1{,}33$, у воздуха $n = 1{,}0003 \approx 1$. В жидкостном световоде $\sin \theta_{пр} = n_{возд}/n_{воды} = 0{,}75$ и предельный угол полного внутреннего отражения $\theta_{пр} = 48°30'$. Итак, чтобы световая волна распространялась по оптически более плотной среде n_{I} без излучения в менее плотную n_{II}, необходимо соблюдать условие $\theta_{пад} \geqslant \theta_{пр}$.

Знаменитый американский физик Роберт Вуд (1868—1955) — этот, по определению академика С. И. Вавилова, "подлинный виртуоз и чародей эксперимента" — в 1905 г. писал: "Свет без больших потерь энергии можно перевести из одной точки к другой, пользуясь внутренним отражением от стенок палочки из стекла или лучше плавленого кварца". Такова была идея твердого прозрачного световода. От ее возникновения до воплощения прошло полстолетия: только в 1950-е годы были получены двухслойные стеклянные волокна с различными показателями преломления обоих слоев: бо́льшим у внутреннего и меньшим у наружного ($n_{I} > n_{II}$). Подобное волокно и является световодом.

Начиная с 1910 г. вносились предложения и делались более или менее успешные попытки применять стеклянные стержни и гибкие волокна для передачи светового луча на небольшие расстояния. Постепенно световоды стали использовать в медицине и кибернетике, светотехнике и голографии, измерительной технике, ядерном и электронно-оптическом приборостроении.

Решающим фактором для разработки оптических систем связи явилось создание в 1960 г. благодаря исследованиям советских физиков лауреатов Ленинской премии

академиков Николая Геннадиевича Басова и Александра Михайловича Прохорова и независимо от них американского физика Чарльза Х. Таунса оптических квантовых генераторов — лазеров (все трое ученых были удостоены за эти исследования Нобелевской премии в 1964 г.).

В 1966 г. С.К. Као и Г.А. Хокхемом (США) было предложено использовать волоконные световоды для целей связи — передавать по ним световой луч, источником которого могут быть лазер или светоизлучающий диод (светодиод) — полупроводниковые приборы, генерирующие при прохождении через них электрического тока узконаправленное оптическое излучение.

Для передачи сигналов связи используется сравнительно узкий (частота $10^{14} - 10^{13}$ Гц) диапазон волн оптического излучения, захватывающий видимый спектр ($7{,}5 \times 10^{14} - 4 \cdot 10^{14}$ Гц), ближнее ($4 \cdot 10^{14} - 2 \cdot 10^{14}$) и частично среднее ($2 \cdot 10^{14} - 1 \cdot 10^{14}$) инфракрасные излучения. В оптике, как и в радиотехнике, при столь высоких частотах принято оперировать длиной волны $\lambda = c/f$, где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — скорость света в вакууме. В данном случае это будут волны длиной 0,4 — 3 мкм. Практически освоенный диапазон их несколько уже — от 0,6 до 1,6 мкм. На передающем конце линии светогенератор преобразует электрические колебания, несущие информацию, в световые лучи, направляемые в световод через его полированную торцевую плоскость. На приемном конце световые лучи попадают на фотодиод — также полупроводниковый кремниевый или германиевый прибор, выходные параметры которого зависят от его освещенности. Фотодиод преобразует световые лучи снова в электрические колебания, направляемые к получателю информации.

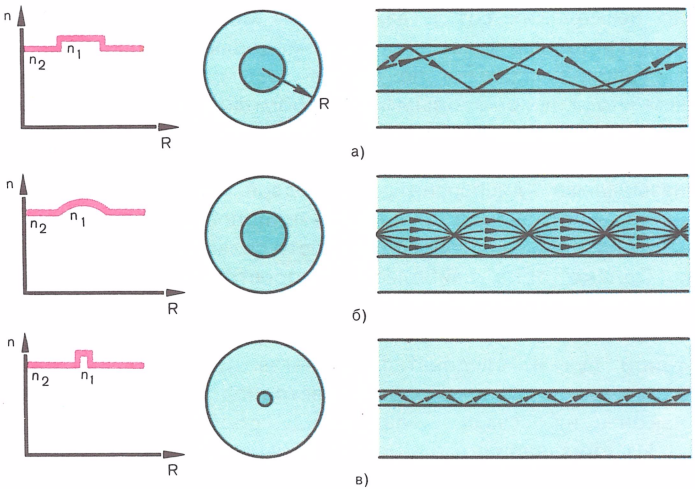
Парадоксально, но факт: классический диэлектрик — стекло, то самое стекло, из которого Б. С. Якоби изготовлял трубки, изолирующие медную проволоку от зем-

ли, перенимает функцию проводника. Правда, проводника не электронов, а фотонов.

Техника волоконных световодов развивается столь стремительно, что терминология за ней явно не поспевает. Отсюда некоторые разноречия, порой неточности. Внутреннюю часть световода пробуют называть сердечником, что не совсем удобно, так как термин "сердечник" относится к конструкции всего кабеля и, кроме того, к профилированным опорным элементам, поддерживающим волокна. Более подходит "сердцевина световода".

Наружный слой именуют то покрытием, то оболочкой. Строго говоря — это светоотражающая, или оптическая, оболочка. Хотя уже имеется оболочка кабеля, придется, видимо, примириться с "оболочкой световода". Покрытием же являются обязательные защитные слои, накладываемые поверх волокна, чтобы предохранить его от влаги и механических воздействий, а также, чтобы не просачивался свет и не возникало бы взаимного влияния сигналов, передаваемых по различным световодам. На наш взгляд, их вполне можно было бы называть изоляцией волокна, хотя и не в традиционном понимании этого слова, принятом в электротехнике. Но ведь наряду с электрической изоляцией существуют и гидроизоляция, и теплоизоляция, и звукоизоляция.

Завоеванные позиции. Принципиально различаются два варианта стекловолокон: ступенчатое и градиентное. У сплошной сердцевины ступенчатого волокна показатель преломления неизменен по всему поперечному сечению ($n_{\text{I}} = \text{const}$), а на границе "сердцевина — оболочка" уменьшается скачком до n_{II}. Градиентное волокно отличается тем, что показатель преломления его многослойной сердцевины не постоянен, а плавно уменьшается от центра к периферии; на границе сердцевины и оболочки волокна $n_{\text{I}} = n_{\text{II}}$.



Типы световодов:
а — ступенчатый многомодовый; *б* — градиентный многомодовый; *в* — одномодовый

Условия передачи по световоду во многом зависят от размера его сердцевины. Наибольшей пропускной способностью, то есть наиболее широкой частотной полосой пропускания, обладают световоды, диаметр сердцевины которых d_c соизмерим с длиной волны, а именно $d_c : \lambda \leqslant \leqslant 10$.

Для передаваемого спектра частот получается значение диаметра всего в несколько микрон — миллионных долей метра (5—10 мкм). По таким световодам распространяется только один тип, или одна модификация волны, одна мода, поэтому их называют одномодовыми. При диаметре сердцевины более 10λ, то есть свыше 10—15 мкм, в световоде распространяется от нескольких десятков

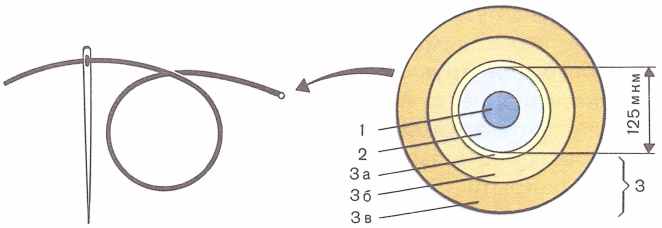
до нескольких сот и даже тысяч модификаций волн — мод. Подобные волокна — многомодовые.

Условия передачи по одномодовым волокнам лучше, чем по многомодовым. В одномодовых в несколько раз меньше затухание, или ослабление передаваемого сигнала и меньше искажается его форма (меньше так называемая дисперсия), благодаря чему значительно шире используемая для передачи полоса частот. Все это способствует увеличению дальности связи.

Однако пока наиболее распространены многомодовые волокна. Их легче изготавливать, чем одномодовые; в их сердцевину большего диаметра легче вводить световой луч и, следовательно, легче подобрать источник излучения — им может быть светодиод малой мощности; наконец, их легче сращивать между собой.

Из двух вариантов многомодовых волокон предпочтительнее градиентное: в нем почти вдвое меньше мод и, главное, в значительной мере выравнены скорости их распространения — следовательно, шире его полоса пропускания. Если для ступенчатых многомодовых волокон это десятки мегагерц, то для градиентных — сотни мегагерц. Для наиболее широкополосных одномодовых световодов полоса пропускания достигает нескольких гигагерц. Помимо трудностей, связанных с изготовлением тонкой сердцевины одномодовых волокон и использованием более мощного источника излучения — полупроводникового лазера — для компенсации увеличивающихся потерь на вводе луча в световод, следует учитывать и меньшую механическую прочность сердцевины диаметром всего в тысячные доли миллиметра.

Стекловолокно изготовляют из плавленого кварца — кремнезема SiO_2 высокой чистоты. При этом в сердцевину, осаждаемую из газовой фазы $SiCl_4$ реакцией окисления ($SiCl_4 + O_2 \rightarrow SiO_2 + 2Cl_2$) внутри кварцевой оболочки, вводят в виде окислов немного либо германия (GeO_2),



Оптическое волокно:
1 — сердцевина волокна; *2* — оболочка волокна; *3* — защитное покрытие волокна (*а* — внутренний слой; *б* — промежуточный — буферный слой; *в* — наружный слой)

либо фосфора (P_2O_5), либо титана (TiO_2) для того, чтобы ее показатель преломления был несколько выше, чем у оболочки, и чтобы при этом обеспечить соблюдение заданного закона изменения профиля. Показатели преломления кварцевых стекол лежат в основном в пределах 1,45 — 1,65. Практически различие между n_I и n_{II} небольшое, например n_I = 1,525, а n_{II} = 1,51. Предельный угол полного внутреннего отражения близок к 90°. Действительно, $\sin \theta_{пр}$ = 1,51 : 1,525 = 0,99737 и $\theta_{пр} = 85°41'$.

На волокно наносится двух- или трехслойное покрытие. Например: первый (внутренний) слой, или первичное покрытие, в виде лаковой пленки толщиной 5—10 мкм; второй (промежуточный) демпфирующий, или буферный, слой из кремнийорганического компаунда толщиной 25—50 мкм и третий (наружный) слой из полимера — полиэтилена, политетрафторэтилена (фторопласта-4) или полиамида (нейлона), накладываемого либо плотно, либо в виде свободной трубки с наружным диаметром от 250 до 600 мкм. Сочетание стеклянного волокна, то есть световода, с покрытием является конструктивным элементом, называемым оптическим волокном (ОВ).

Вынужденная условность последнего наименования продиктована необходимостью различать изменение состояния любого конструктивного элемента, в данном случае стекловолокна с покрытием от стекловолокна без покрытия. Оптическими свойствами, естественно, обладает стекловолокно независимо от того, имеется ли на нем защитное покрытие. Термин "световедущая жила" вместо оптического волокна, вероятно, был бы более доходчив, хотя и менее строг.

Совокупность оптических волокон образует кабель связи. Его иногда называют волоконно-оптическим, но можно говорить и просто оптический — по аналогии с электрическим. У обоих много общего. Стеклянные волокна с покрытием выполняют функцию световедущих жил, подобную функцию изолированных токопроводящих жил; и те и другие скручиваются в кабельный сердечник.

Как и в электрических кабелях, число жил в оптических кабелях может доходить до нескольких тысяч. Точнее: "сможет доходить". Пока осваиваются и частично освоены в производстве и эксплуатации конструкции с числом световедущих жил преимущественно (на 80 %) до 10—12. Остальные 20 % приходятся на конструкции, содержащие 72, 96, 144, 216 и максимально 320 жил.

Для защиты от внешних механических и климатических воздействий в оптических кабелях также служит оболочка — пластмассовая, алюминиевая, иногда комбинированная. Когда необходимо, применяются бронепокровы.

В то же время, в отличие от электрических кабелей, оптические содержат ряд дополнительных конструктивных элементов. В их числе: силовые, или армирующие, воспринимающие нагрузки, чтобы не повредились стекловолокна; демпфирующие, или буферные, дополнительно защищающие волокна от радиальных механических воздействий и обеспечивающие свободу их взаимного перемещения при изгибах кабеля; элементы питания —

металлические жилы, по которым подается электрический ток, питающий промежуточные усилители.

Впрочем, в отличие от линий электрической связи, в линиях оптической связи, по которым осуществляется многоканальная передача в основном с временным разделением каналов, в частности с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ), устанавливаются усилители-регенераторы. В них передаваемые сигналы претерпевают двойное преобразование. Поступающий из линии оптический сигнал принимается фотодиодом и преобразуется в электрический, который и усиливается. При этом восстанавливается его первоначальная форма. Затем электрический сигнал, в свою очередь, преобразуется в оптический, который посредством передающего устройства — лазера или светодиода — и направляется дальше в линию.

В оптических кабелях многоканальная передача по одному световоду идет в одном направлении, а по другому — в обратном направлении в той же частотной полосе. Таким образом, оптическая двухсветоводная цепь соответствует электрически четырехпроводной высокочастотной однополосной цепи, а один световод в этом случае — физической паре электрических жил. Не исключено применение одного световода для двусторонней передачи с разделением полосы частот.

Когда было высказано предположение о возможности использования световодов для целей связи, коэффициент затухания даже лучших оптических волокон составлял около 1000 дБ/км. Передача по таким волокнам была практически невозможна, так как регенераторы пришлось бы устанавливать через каждые 40—50 м. Судьба оптических кабелей зависела от того, удастся ли получить стекловолокна с $\alpha < 10$ дБ/км. Результаты превзошли самые оптимистические ожидания.

В 1970 г. были получены световоды с $\alpha < 20$ дБ/км. Добившись уменьшения концентрации примесей метал-

лов (Fe, Cu, Cr, Ni, Mn) и гидроксильных групп OH, к 1975 г. научились изготовлять кварцевые стекла с $\alpha <$ < 10 дБ/км, а к 1978 г. с $\alpha < 5$ дБ/км. В 1978 г. в экспериментальных стеклах коэффициент затухания был снижен до 1 дБ/км. Тогда-то и отпали все сомнения в практической пригодности стекловолоконных кабелей связи и началось сооружение опытных кабельных линий для оптических систем передачи информации.

У лучших световодов 1980-х годов коэффициент затухания уменьшен до 0,2—0,5 дБ/км, что позволило при усилении усилителей-регенераторов в 30—40 дБ прокладывать опытные линии длиной 100—150 км без промежуточных усилителей. Потери энергии в местах соединений строительных длин оптических кабелей составляют 0,1—0,2 дБ на каждый стык. Представление о чистоте стекловолокон дает сопоставление с очковыми линзами, имеющими коэффициент затухания 1000—2000 дБ/км.

Хотя история оптических кабельных линий связи насчитывает всего одно десятилетие, можно уже говорить о нескольких их поколениях, определяемых не только конструкцией стекловолокон (одномодовые — многомодовые, ступенчатые — градиентные), но и длиной световой волны. С увеличением последней затухание передаваемого сигнала уменьшается.

При этом на графике спектральной зависимости коэффициента затухания α от длины волны λ в точках, соответствующих $\lambda = 0{,}85;\ 1{,}3;\ 1{,}6;\ 2{,}6$ мкм, имеются так называемые окна прозрачности, в которых значения α минимальны.

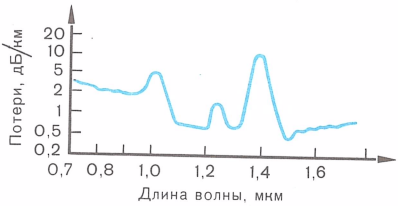
В реальных оптических кабелях при увеличении длины волны с 0,85 до 1,3 мкм коэффициент затухания уменьшается в 2—4 раза, а при переходе с 0,85 на 1,55 мкм даже в 5—10 раз.

Подавляющая часть (80%) линий первого поколения была длиной менее 10 км и лишь пятая часть линий имела

Таблица 20

Поколения оптических кабельных линий связи

Поколение	Годы	Тип изделий	Конструкция стекловолокон	Длина волны, мкм	Коэффициент затухания, дБ/км	Длина усилительного участка, км
Первое	1976—1980	Опытные	Многомодовые—ступенчатые или градиентные	0,85	5	10
Второе	1981—1985	Действующие, опытные	Многомодовые градиентные	1,3	1,5—2	15—20
Третье	1986—1990	Проектируемые	Одномодовые	1,3; 1,6	0,5	25—50



Зависимость коэффициента затухания сигнала в кварцевом световоде от длины световой волны

длину от 10 до 50 км. Протяженность отдельных линий второго поколения составляет несколько сот километров. Ожидается, что линии третьего поколения будут перекрывать расстояния в тысячи километров.

Показательно, с какой быстротой развивается строительство оптических кабельных линий. Если за первые три года (1976—1978 гг.) их было сооружено 23, то следующее трехлетие (1979—1981 гг.) назвало цифру 85 — в три с половиной раза большую. В середине 1980-х годов число линий достигло нескольких сот.

Больше всего оптических кабелей связи проложено пока в городах: на соединительных линиях между АТС (их 70%) и на абонентских линиях (15%). Остальные 15% линий — междугородные.

Июнь 1984 года и адрес: Москва, Алтайская улица дом 19, корпус 1 войдут в историю отечественной электросвязи и кабельной техники, в частности. К этому дому, находящемуся в так называемой "теневой" зоне телеприема, где качество изображения неудовлетворительное из-за постоянных помех — отражений радиосигналов от более высоких зданий, — была подведена первая в нашей стране подземная телевизионная линия оптического светового кабеля. Линия длиной 2,5 км, заменившая привычные для глаза телевизионные коллективные антенны, идет к 9-этажному дому от 16-этажного здания,

находящегося в зоне уверенного телеприема. С приемной антенны этого здания электрический сигнал попадает в блок преобразования, откуда уже в виде оптического сигнала направляется в кабель. На выходе из кабеля происходит обратное преобразование, и электрический сигнал поступает на вход телевизора.

Международной электротехнической комиссией (МЭК) рекомендованы следующие размеры многомодовых оптических кварцевых волокон: диаметр сердцевины 50 мкм, диаметр по оболочке 125 мкм и по защитному покрытию 250 мкм (0,25 мм). Основные размеры стекловолокна принято записывать дробью, например 50/125. Впрочем, встречаются многомодовые волокна и других размеров: 62,5/125; 65/130; 80/100; 85/130; 100/140. Размеры одномодовых волокон пока еще не нормированы; практически применяют 5—10/125 мкм.

Световоды изготовляют не только из стекла, но и из полимерных материалов: полистирола, полиметилметакрилата. Полимерные волокна легче изготовлять, чем стеклянные, они более стойки к многократным изгибам. Но у них значительно выше коэффициент затухания (в оптическом диапазоне $\alpha > 300$ дБ/км), что делает их непригодными для линий связи. (В то же время полимерные световоды с успехом применяются в монтажных кабелях, прокладываемых на короткие расстояния.) Промежуточное положение занимают комбинированные кварц-полимерные волокна со стеклянной сердцевиной и полимерной оболочкой с размерами от 125/500 до 300/1100 мкм.

В таких волокнах сердцевина может быть изготовлена из чистого кварца без примесей, более стойкого, например, к воздействию радиации. Разница в показателях преломления сердцевины и оболочки обеспечивается подбором полимера с относительной диэлектрической проницаемостью, меньшей, чем у стекла. Коэффициент затухания кварц-полимерных волокон 10—20 дБ/км.

Близкое и далекое. Неоспоримы преимущества оптических кабелей перед электрическими. Главные из них — значительно более высокая пропускная способность благодаря расширенному во много раз спектру передаваемых частот; большая скорость передачи информации; намного меньший коэффициент затухания (у коаксиальных пар 2,6/9,5 параметр $\alpha = 2{,}4 \div 4{,}8$ дБ/км на частотах 1 — 4 МГц, а на частоте 500 МГц он повышается до 55 дБ/км), что позволяет реже устанавливать регенераторы на линиях (через 10—20 км при использовании многомодовых волокон и через 25—50 км при переходе на одномодовые волокна).

Оптические (небронированные) кабели имеют малые наружные диаметры — от 2 до 30—40 мм, в зависимости от количества волокон, и массы всего до нескольких сот (10—600) килограмм на километр. (Наружные диаметры отечественных коаксиальных кабелей в свинцовой оболочке небронированных КМГ-4 и КМГ-8/6 равны 30—60 мм, а их массы 3000—6000 кг/км). Благодаря этому существенно облегчится их прокладка в кабельной канализации городских телефонных сетей и более эффективно будут использоваться трубопроводы.

В конструкции оптических кабелей полностью или почти полностью отсутствует дефицитная медь. (Расход меди в коаксиальных кабелях типа КМ-4Х2,6/9,5 составляет почти 500 кг/км.) Наконец, начинает сбываться второй из аспектов прогноза профессора Эйртона, — но сбываться своеобразно — не отрицанием кабелей связи как таковых, а возможностью не расходовать медь на их изготовление.

Световоды не восприимчивы к внешнему электромагнитному влиянию линий электропередачи, электрифицированных железных дорог, радиостанций, грозовых разрядов, благодаря чему отпадает необходимость в экранировании цепей. Отсутствие электромагнитного излуче-

ния из волокна позволяет избежать взаимных помех между цепями и, главное, обеспечивает секретность связи.

Последним по очередности, но не по степени важности преимуществом является универсальность оптических кабелей. Один и тот же тип кабеля может быть использован как на междугородных, так и на местных сетях для телефонной, телевизионной, факсимильной передачи одновременно. Уже к началу 1980-х годов суммарная доля видеоинформации и передачи данных по линиям оптической связи превышала долю телефонных сообщений. Прогнозируется, что в будущих сетях связи существенно возрастает роль средств для передачи видеоинформации: видеотелефона, кабельного телевидения, телевизионной конференц-связи. Применение оптических кабелей позволит привести в соответствие возможности сетей связи с психологическими и физиологическими особенностями людей, получающих основную информацию с помощью зрения, а не слуха. Система "ухо — мозг" воспринимает в одну секунду объем информации 50000 единиц (50 кБит), а система "глаз — мозг" — 5000000 единиц (5 МБит), то есть в 100 раз больше.

Не случайно в зарубежной научно-технической литературе все чаще встречаются сообщения о "wired house" и "wired city", что в буквальном переводе читается как "проволочные" дома и города. Впрочем, правильнее говорить "каблированные" дома и города. Речь идет об отдельных домах и целых городах, охваченных разветвленной сетью связи с использованием оптических кабелей. В квартирах таких домов будут телефоны и видеотелефоны, аппаратура высококачественного стереофонического радиовещания и высокоскоростной передачи данных, цветные и черно-белые телевизоры и видеоинформационный дисплей.

Первым таким экспериментальным каблированным городом стал небольшой французский курорт Биарриц на по-

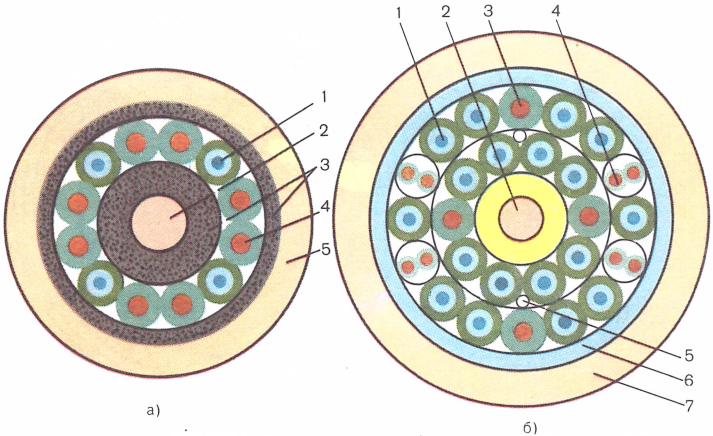
бережье Бискайского залива. Посредством линий, выполненных оптическими кабелями: магистральными, распределительными и абонентскими, нескольким тысячам абонентов городской сети связи обеспечиваются передача телефонных и видеотелефонных разговоров, двух телевизионных программ и различные услуги службы сервиса.

Уязвимой стороной световодов и, следовательно, оптических кабелей являются механические свойства. По номинальной прочности на разрыв стекловолокна не уступают медной проволоке, даже превосходят ее. Однако они сильно подвержены микрорастрескиванию. Появление микротрещин может привести в конечном счете к обрывам волокон. Стекловолокна не стойки к всестороннему сжатию. При различного рода механических воздействиях в процессах изготовления, прокладки и монтажа кабелей возникают многочисленные микроизгибы волокон, влекущие за собой увеличение коэффициента затухания. Особенно сильно проявляются все эти отрицательные явления при низких температурах.

Разработано и запатентовано несколько сот конструкций оптических кабелей связи. Многообразие их обусловлено различными количествами волокон и структурами сердечника кабелей, способами их упрочнения, комбинациями мягких и твердых буферных слоев, типами оболочек и защитных покровов.

Еще не определены оптимальные конструкции кабелей и технология их изготовления, строительные длины и способы защиты от влаги. И все-таки уже наметились четыре принципиальных варианта конструкции сердечников оптических кабелей связи.

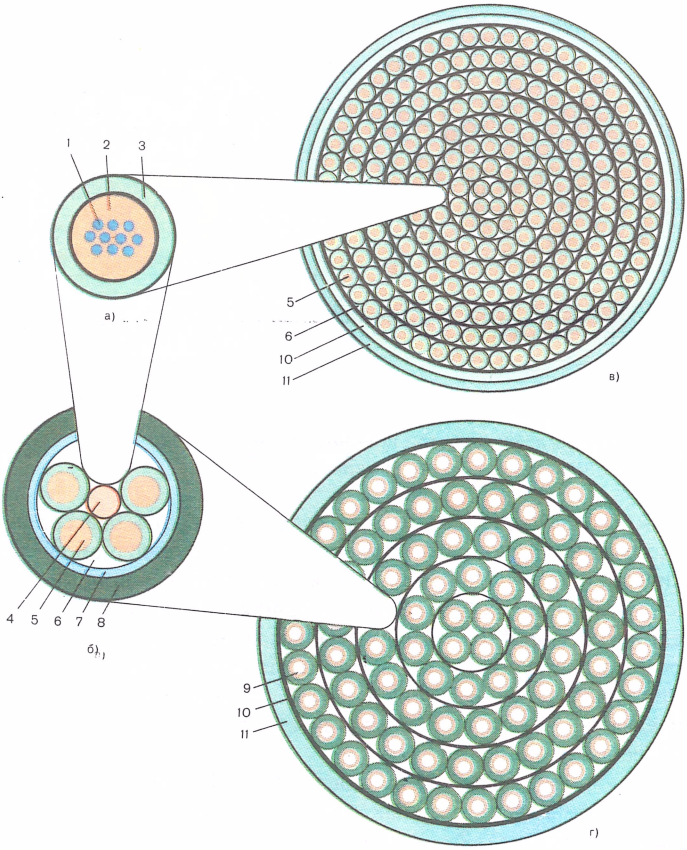
Первый вариант — сердечники кабелей простой повивной скрутки; они скручены из одинарных оптических волокон, расположенных в один или несколько повивов. Примеры конструкций показаны на рисунке. Одноповив-



Оптические кабели простой повивной скрутки:
***а* — одноповивный; *б* — двухповивный**

ный кабель содержит четыре волокна *1* с пластмассовым покрытием и силовой элемент *2* из высокопрочной синтетической нити. Между силовым элементом и волокнами, а также поверх волокон расположены демпфирующие слои *3* из пористой пластмассы. Смещению волокон по периметру препятствуют толстые пластмассовые кордели или изолированные пластмассой медные проволоки — элементы питания *4*. Сердечник кабеля защищает полиэтиленовая оболочка *5*.

Двухповивный кабель состоит из 18 оптических волокон *1*, расположенных двумя повивами вокруг силового элемента *2* — стальной проволоки с полимерным покрытием. Между волокнами размещены металлические элементы питания *3*, служебные электрические пары *4* и контрольные жилы *5*. Сердечник кабеля защищен двумя оболочками: внутренней алюмополиэтиленовой *6*, выполняющей функцию поясной изоляции, и внешней полиэтиленовой *7*.



Второй вариант — сердечники кабелей сложной — пучковой скрутки. Отдельные волокна сначала формируются в пучки — элементарные, например из 10 волокон, и главные, например из пяти элементарных, то есть содержащие 50 оптических волокон. В свою очередь, сердеч-

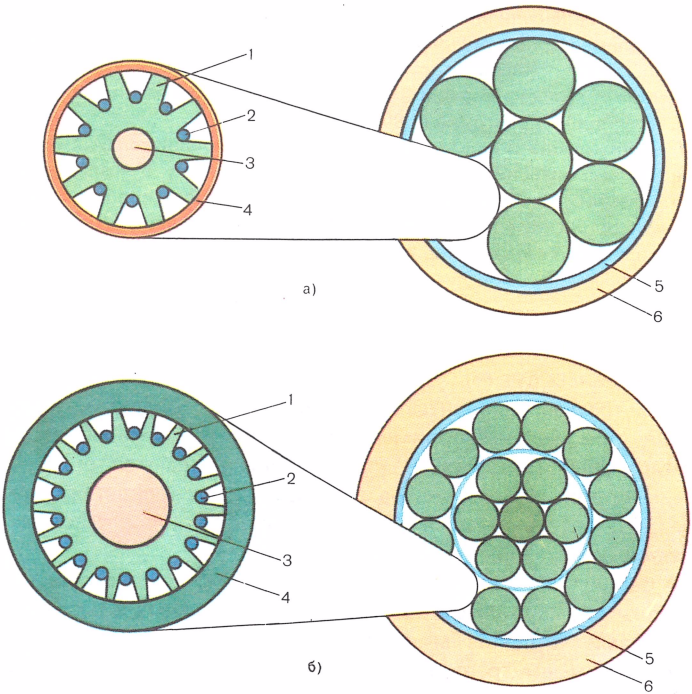
Оптические кабели сложной — пучковой скрутки:
а — элементарный пучок 10Х1; *б* — главный пучок 5Х (10Х1) = = 50 ОВ; *в* — кабель, скрученный из элементарных пучков конструкции 200Х10 = 2000 ОВ; *г* — кабель, скрученный из главных пучков — конструкции 80Х50 = 4000 ОВ:
1 — оптические волокна; *2* — компаунд — заполнитель; *3* — оболочка элементарного пучка; *4* — силовой элемент; *5* — элементарный пучок; *6* — компаунд — заполнитель; *7, 8* — поясная изоляция и оболочка главного пучка; *9* — главный пучок; *10* — поясная изоляция сердечника; *11* — оболочка кабеля

ники кабелей скручиваются повивами из элементарных или главных пучков.

В третьем варианте конструирования предусматривается применение полимерных опорных каркасов *1* со спиральными пазами, в которые укладываются оптические волокна *2*. В центре каркаса имеется силовой (армирующий) элемент *3*. Каждый каркас защищен пластмассовой лентой или трубкой *4*.

Сердечник кабеля может состоять из одного или нескольких, например 7, 19, каркасов — можно их называть блоками, а лучше модулями. Защищают сердечник две оболочки: внутренняя алюминиевая *5* и наружная полиэтиленовая *6*. Маломодульный кабель, изображенный на рисунке, содержит 70 оптических волокон, а многомодульный — 342 волокна.

Четвертый вариант отличается от всех остальных тем, что сердечник кабеля имеет не круглую, а квадратную или прямоугольную форму поперечного сечения. Это кабели так называемого ленточного типа; их сердечники комплектуются из лент, каждая из которых содержит определенное количество оптических волокон. Ленты укладывают стопкой и закручивают по винтовой линии для придания гибкости. Наиболее распространена конструкция 12Х12, показанная на рисунке. Сердечник кабеля



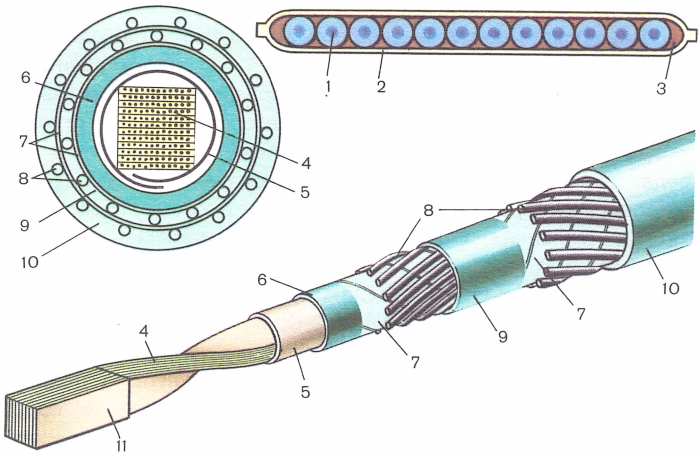
Оптические кабели с опорными каркасами:
а — 7-модульный; *б* — 19-модульный

защищается двумя или даже тремя полиэтиленовыми оболочками. При этом внешние (одна или две) армируются силовыми элементами.

По такому кабелю с наружным диаметром всего 12,7 мм, проложенному между Нью-Йорком и Вашингтоном на расстоянии примерно 350 км, передается одновременно 240000 телефонных разговоров (примерно по 3500 по паре волокон со скоростью 274 Мбит/с). Это

вдвое больше передающей способности 22-коаксиального кабеля, используемого в системе передачи на 10800 каналов. Кроме того, диаметр оптического кабеля в шесть раз меньше, чем коаксиального (76 мм).

До сих пор речь шла о подземных кабелях, прокладываемых в трубах или непосредственно в грунте. Весьма заманчиво применение оптических кабелей для подводных линий дальней связи, прокладываемых через моря и океаны. К началу 1980-х годов по самому мощному трансокеанскому коаксиальному кабелю диаметром 50 мм можно было передавать 4000 телефонных разговоров в спектре частот до 30 МГц. При расстояниях между



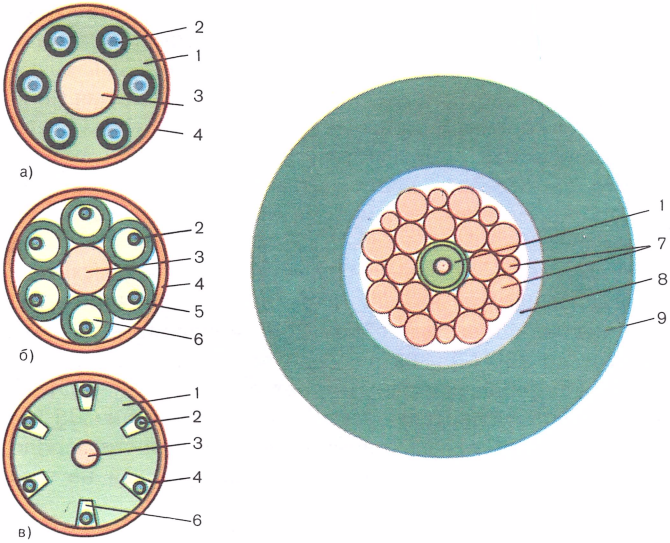
Оптический кабель ленточного типа:
1 — оптические волокна; *2* — полиэфирная лента; *3* — компаунд-заполнитель; *4* — сердечник кабеля — 12X12 = 144 ОВ; *5* — поясная изоляция; *6* — внутренняя полиэтиленовая оболочка; *7* — полиэфирная лента; *8* — армирующие элементы; *9,10* — промежуточная и наружная полиэтиленовые оболочки; *11* — соединитель

промежуточными усилителями 9,5 км обеспечивалась дальность связи 7400 км; в линию можно было включать последовательно почти до 800 транзисторных усилителей. До этого техникой подводных высокочастотных линий был пройден четвертьвековой путь, на протяжении которого были втрое увеличены размеры коаксиальной пары и усовершенствованы все элементы конструкции кабеля, был совершен переход с ламповых усилителей на полупроводниковые, в 3,5 раза повышено напряжение их дистанционного питания. Все это позволило включать в линию в 15 раз больше усилителей и расширить полосу передаваемых частот почти в 200 раз.

Однако дальнейшее повышение пропускной способности линий, например до 10000 каналов, потребовало бы увеличения диаметра кабеля до 60 мм и сокращения расстояния между усилителями до 4 км, что усложнило бы прокладку кабеля, питание усилителей, поддержание стабильности параметров их цепей. Наступило время, когда удовлетворить быстро растущие потребности в передаче информации между континентами простым тиражированием традиционных способов оказалось делом и затруднительным, и недостаточно эффективным.

Симптоматично, что трансатлантический кабель ТАТ-7 между Великобританией и США прокладки 1983 г., так же как и кабель ТАТ-6 (Франция—США, 1976 г.), рассчитан на передачу 4000 телефонных каналов. А ведь объем телефонных сообщений через Атлантику ежегодно возрастает на 20—30 %. то есть удваивается за три-четыре года.

Принципиально новый, качественный скачок в технике подводных линий связи обещает применение оптических кабелей. В первой половине 1980-х годов велась прокладка опытных линий длиной от 10 до 300 км на глубинах до 2000 м. Во второй половине 1980-х годов намечается прокладка для регулярной эксплуатации линий длиной от 300 до 10000 км на глубинах до 7500 м. Коэффици-



Подводный оптический кабель

ент затухания кабелей с одномодовыми волокнами на длине волны 1,3 мкм будет менее 1 дБ/км, длина усилительного участка составит 25—50 км.

Кабели должны обладать прочностью на разрыв не менее 80 кН и выдерживать давление воды до 75 МПа. Планируется обеспечить срок службы линий, в частности лазеров для них, не менее 10—12 лет. Принципиальную схему и возможные разновидности конструкций подводных оптических кабелей иллюстрирует рисунок.

В пластмассовом оптическом модуле *1а*, *1б*, *1в* размещены шесть оптических волокон (три цепи) *2*. В центре модуля находится силовой элемент *3* из стальной проволоки. Модуль покрыт тонкой нейлоновой или полиэтиленовой трубкой *4*. В модуле *б* оптические волокна

помещены в пластмассовые трубки *5*. Пространство внутри этих трубок и в пазах модуля *в* заполнено компаундом *6*. Оптический модуль (ОМ) располагается в центре кабеля, поверх него накладываются одним или двумя повивами высокопрочные стальные проволоки *7*. Затем следуют металлическая — медная или алюминиевая — трубка *8*, по которой передается ток питания усилителей (обратным проводом цепи питания служит морская вода), и полиэтиленовая оболочка *9*. Кабели подобной конструкции с наружным диаметром всего 20—22 мм рассчитаны на организацию по каждой паре световодов 4000 каналов (следовательно, всего до 12000 каналов) в диапазоне частот до 280 МГц на несущей волне 1,3 мкм. Расстояние между промежуточными ретрансляторами (в каждом по шесть усилителей-регенераторов) в линии 35 км. Подобного типа кабель намечается, в частности, проложить в 1987 г. между Францией и Португалией на трассе протяженностью 1300 км.

Минимально достижимый коэффициент затухания сверхчистых кварцевых стекловолокон, вероятно, 0,1 дБ/км. Значит, в перспективе можно ожидать расстояний между подводными усилителями в 300—400 км. Для кварцевых волокон это, видимо, предел, но, возможно к концу века будут созданы новые сверхчистые материалы, например, стекла с добавками циркония (Zr) или гафния (Hf), обладающие еще меньшими потерями. Значительное уменьшение коэффициента затухания оптических волокон сулит переход к более длинным волнам инфракрасного излучения: сначала 3—6 мкм, а в перспективе 6—12 мкм. И кто знает, может быть сбудется фантастическая кажущаяся еще сегодня несбыточной мечта об идеальной трансатлантической телефонной линии вообще без промежуточных усилителей.

Когда хотят подчеркнуть уникальные возможности оптических кабелей, пишут, что по одному волокну (точ-

нее, по паре волокон) можно будет передавать миллион телефонных разговоров. Таков теоретический подсчет, практически же количество телефонных каналов зависит от многих факторов — свойств световодов, лазеров, свето- и фотодиодов. В кабелях первых двух поколений, создавшихся и испытывающихся в 1976—1985 гг., по паре световедущих жил передавались в основном сотни каналов (до 1000—2000) в спектре частот до 100—140 МГц. В кабелях следующего поколения — второй половины 1980-х годов — проектируется передача нескольких тысяч телефонных каналов (до 10000) по паре волокон в спектре частот до 1 ГГц (10^9 Гц). Период 1990-х годов, возможно, позволит перейти к десяткам тысяч (до 100000) каналов (естественно, по одномодовым волокнам и на волне длиной 1,6 мкм) и спектру рабочих частот до 10 ГГц.

Впрочем, развитие техники волоконно-оптических линий происходит столь стремительно, что опережает даже самые оптимистические прогнозы.

Восьмидесятые годы знаменуют начальный период внедрения оптических кабелей связи, в девяностые годы ожидается широкое распространение их как на линиях городских телефонных сетей, так и на междугородных и международных магистралях.

БУДУТ ЛИ КАБЕЛИ В 2000-М ГОДУ?

Среди нескольких эпитетов, присваиваемых XX веку, есть и такой: "век связи и управления". Принадлежит он отцу кибернетики Норберту Винеру. Развитие связи даже по меркам нашего высокоскоростного века поистине стремительно. Современная связь — это телефон и видеотелефон, телеграф и фототелеграф, передача данных, передача газет, радио- и телевизионное вещание. Преобладающей является телефонная связь.

Темпы телефонизации земного шара не назовешь иначе как космическими. На установку первых ста миллионов телефонов человечеству понадобилось целых 80 лет (1876—1956 гг.), а на вторую сотню — всего 10 лет (1956—1966 гг.). Последующие сотни миллионов телефонов установились за 6 лет, за 4,5 года, 4 и соответственно 3 года. Народонаселение нашей планеты удваивается в XX веке примерно за 40 лет, а число телефонов на ней — за 10—11 лет. Ежегодный прирост населения составляет во второй половине столетия около 2% (в последние годы снизился до 1,7—1,6), а количества телефонов — в среднем 6%.

Статистики подсчитали, на сколько человек увеличивается население Земли в секунду, в минуту, в час. В сутки — на 220000. Число установленных телефонов возрастает в сутки примерно на 100000.

На сбор и обработку глобальных статистических данных уходит почти два года. С достаточной степенью точности можно считать, что к началу 1985 г. население Земли достигло 4,8 миллиардов человек, а количество установленных на ней телефонов 630—640 миллионов. Следовательно, телефонная плотность, то есть число телефонов на 1000 жителей, равняется в настоящее время 13,2.

Демографы полагают, что к 1990 г. на Земле будет 5,2—5,3 миллиарда людей, а к 2000 г. — 6,1—6,2 миллиарда. Исходя из неизменности 6%-ного ежегодного прироста, можно рассчитать (так как вычисляют в сберкассах сумму вклада с процентами к первоначальному), что число телефонов в мире достигнет к 1990 г. 850 миллионов, а к началу XXI века 1,5—1,6 миллиардов. Значит, за ближайшие 15 лет на Земле будет установлено в 1,5 раза больше телефонов, чем за предыдущие 110 лет, а телефонная плотность вырастет почти вдвое.

Но не только количеством телефонов определяется потребность в каналах связи. Еще быстрее растет теле-

фонный обмен, то есть объем передаваемой информации. В последние годы прирост количества телефонных разговоров стабилизировался на уровне 10 %.

Сто лет тому назад, в течение 1885 г. в мире состоялось почти 400 миллионов разговоров по телефону. Теперь такое количество разговоров происходит в такой стране, как Кения, Тунис, Танзания или Эфиопия. Общее число телефонных разговоров в мире исчисляется сотнями миллиардов и приближается к 1000 миллиардам, то есть к триллиону в год. В среднем на один установленный телефон приходится 1500—1600 разговоров в год. В Швеции, Мексике, во Франции этот показатель составляет 4500—6500, в США и Канаде примерно 2500, а в ФРГ, Великобритании и Италии около 1500.

Из общего количества телефонных разговоров 90 % передаются по местным — городским и сельским сетям связи, а 10 % — по междугородным линиям.

Доходы от телефонной связи составляют в среднем 90 % доходов от всех служб электросвязи и вырастают за десятилетие в 4—5 раз. Недаром социологи иронизируют над тем, что люди разучились писать письма, предпочитая им разговоры по телефону. Показательно сопоставление динамики телеграфного и телефонного обмена. Так, в Великобритании — стране с высокоразвитыми средствами связи — в 1931 г. было передано 40 миллионов телеграмм и состоялось 1,4 миллиарда телефонных разговоров. За пятьдесят лет количество телефонных разговоров выросло в 14 раз и достигло в 1981 г. 20 миллиардов. За этот же период число телеграмм наоборот уменьшилось в 13 раз — до 3 миллионов.

По данным московского почтамта один москвич получает в среднем 90—100 писем и 4—5 телеграмм в год, что в десятки и сотни раз меньше среднего числа телефонных разговоров.

Все большее значение в жизни общества приобретает проблема передачи данных, проблема бесперебойной и безошибочной связи между современными быстродействующими электронно-вычислительными комплексами. В нашей стране имеется уже свыше 300 отраслевых автоматизированных систем управления (ОАСУ) и намечается создание Общегосударственной автоматизированной системы сбора и обработки информации для учета, планирования и управления народным хозяйством (ОГАС). Речь идет об оперативном использовании информации во всех сферах человеческой деятельности — на производстве и в быту, в торговле и просвещении, в области культуры и охраны природы.

"Информационный взрыв" требует мощных средств передачи информации, огромного количества каналов. Для этой цели используются различные линии связи: кабельные, радиорелейные, спутниковые, тропосферные, ионосферные, метеорные. В нашей стране все они входят в Единую автоматизированную сеть связи (ЕАСС), которая строится по радиально-узловому принципу и объединяет сети городской, сельской, зоновой (вся территория Советского Союза разделена на зоны) и магистральной связи.

Хотя мы и назвали проводную связь и радиосвязь антиподами — по различию сред, используемых для передачи сигналов информации, — в совокупности они рационально дополняют одна другую и взаимодействуют в мировой системе связи, где для каждой находится своя оптимальная сфера применения. Выражаясь языком спортивных комментаторов, оба средства связи скорее друзья-соперники, способствующие прогрессу человечества.

И все же доля кабельных линий в ЕАСС весьма значительная, можно сказать, преобладающая. В равной мере это относится к мировой сети связи. В радиосвязи труднее достигнуть абсолютной непрерывности и надежности.

Условия передачи по так называемым открытым линиям зависят от атмосферных воздействий: давления и температуры, солнечных возмущений, гроз и магнитных бурь и даже от времени суток и времени года. На стороне кабелей надежность и долговечность связи, ее секретность, защищенность от атмосферных влияний и взаимных помех, высокая достоверность, что особенно важно при передаче данных в вычислительные центры.

Вот почему можно уверенно дать однозначный ответ на вопрос, поставленный в заглавии параграфа: будут кабели в 2000-м году! И не только в 2000-м, в XXI веке! Какие это будут кабели? Безусловно, и электрические, и оптические. Было бы наивным полагать, что как по мановению волшебной палочки все кабели связи в XXI веке будут изготовляться только в "оптическом исполнении". Предположим, ежегодно выпускается несколько миллионов километров электрических кабелей связи. Совершенно очевидно, что для перестройки кабельных заводов и замены существующего оборудования новым, для создания мощностей по производству высококачественного, с малыми потерями кварцевого волокна, для разработки конструкций и особенно для освоения технологии изготовления оптических кабелей нужно немалое время.

Известный американский инженер-кабельщик М. С. Бискеборн в 1983 г. опубликовал статью под названием "Медный кабель жестко противостоит натиску оптического волокна". В ней он написал, что для полной замены существующей абонентской телефонной сети в США на сеть из стекловолоконных кабелей потребуется ни много ни мало: 1500 лет. Длину физических цепей этой сети он определил в 450 млн. км и принял в качестве неизменной существовавшую в начале 1980-х годов в США мощность по выпуску 300000 км стекловолокна в год.

Столь пессимистический прогноз неубедителен. Возможно, Бискеборн — ярый приверженец традиционных

конструкций кабелей и не хочет сдавать привычных позиций. Может быть, он недооценивает возможностей новой техники. Темпы производства стекловолоконных кабелей, как и любого перспективного изделия, нарастают стремительно. Судя по стоимости продукции, объем производства оптических кабелей в США за десятилетие 1980—1990 гг. вырастет в 22 раза, что соответствует годовому приросту в 36%. Последнюю цифру легко получить из уравнения $(x)^{10} = 22$ и далее $10 \lg x = \lg 22 = 1{,}3424$, откуда $x = 1{,}362$.

При таком приросте увеличение выпуска оптических кабелей в 1500 раз произойдет не за 1500 лет, а всего лишь за 24 года, что также нетрудно проверить: $(1{,}36)^x = 1500$; $x \lg 1{,}36 = \lg 1500 = 3{,}1761$; $x = 3{,}1761 : 0{,}1335 = 23{,}7 \approx 24$.

Долгосрочное количественное прогнозирование — дело рискованное. Возможно, после 1990 г. темпы роста производства оптических кабелей несколько замедлятся, весьма вероятно, что в разных странах они будут различными. Предстоит добиться того, чтобы стоимости канала связи по оптическому и электрическому кабелям были сопоставимы. Также сопоставимы должны быть гарантированные сроки службы обоих типов кабелей (не менее 30 лет — по требованиям отечественных стандартов).

Во всяком случае, применительно к локальной области линий связи можно считать XX век веком электрических кабелей, а XXI век веком электрических и оптических кабелей с неуклонным возрастанием удельного веса последних. И все-таки кабелей!

Кабелей, которые предоставят в будущем любому абоненту сети связи возможность пользоваться телефоном и видеотелефоном, слушать радиовещательные и смотреть без помех телевизионные программы, заказывать кинофильмы, изображения газетных, журнальных и книжных страниц из библиотек, иметь индивидуальный доступ к банкам данных и ЭВМ.

Кабелей, которые совместно с лазерами и ЭВМ позволят создать принципиально новые системы передачи информации, преобразить технику связи.

Кабелей, которые уже покрыли густой сетью подземных и подводных линий земной шар и покроют еще больше. Кабелей, которые соединят любых абонентов внутри города или села, город с городом, страну со страной, континент с континентом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Баев Н. А., Добровольский Г. В., Халезов Б. В.** Дальняя связь. — М.: Связьиздат, 1940. — 460 с.
2. **Беликов Б. С.** Телеграф и телефон. — М.: ГИТТЛ, 1958. — 62 с.
3. **Белькинд Л. Д., Конфедератов И. Я., Шнейберг Я. А.** История техники. — М.: Госэнергоиздат, 1956. — 491 с.
4. **Варшавер Э. М.** Разговор по проводам. — М.: Связьиздат, 1949. — 71 с.
5. **Вейтков Ф.** Летопись электричества. — М.: Госэнергоиздат, 1946. — 317 с.
6. **Головин Г. И., Эпштейн С. Л.** Русские изобретатели в телефонии. — М.: Связьиздат, 1949. — 88 с.
7. **Дзюбин И. И.** Выхожу на связь. — М.: Знание, 1979. — 160 с.
8. **Зорич А.** Одна из многих. — М.: Советский писатель, 1935. — 272 с.
9. **Ильинский М. М.** Телефон и телеграф. — М. — Л.: Молодая гвардия, 1972. — 68 с.
10. **Карцев В. П.** Приключения великих уравнений. — М.: Знание, 1978. — 224 с.
11. **Конструктивные** и электрические характеристики кабелей связи/И. Е. Ефимов, М. А. Климов, Р. М. Лакерник, Д. Л. Шарле. — М.: Связьиздат, 1959. — 542 с.

12. **Коршунов В. Н., Шитов В. В., Моряков Г. С.** Оптические кабели связи. — М.: Связьиздат, 1980. — 72 с.
13. **Костыков Ю. В.** Техника связи. — М.: Воениздат, 1953. — 333 с.
14. **Ларин Ю. Т.** Оптические кабели. — М.: Информэлектро, 1983. — 66 с.
15. **Огарков П. Ф.** Междугородное телефонирование. — М.: Связьиздат, 1959. — 98 с.
16. **Основы** телефонии. Ч. I / Под ред. А. Г. Эльсница. — М.: Воениздат, 1941. — 288 с.
17. **Первов П. Д.** Проложение первого телеграфа через океан. — М.: Новая Москва, 1923. — 109 с.
18. **Подводные** кабельные магистрали связи / Под ред. И. С. Равича и Д. Л. Шарле. — М.: Связь, 1971. — 293 с.
19. **Радовский М. И.** Борис Семенович Якоби. — М.: Госэнергоиздат, 1949. — 134 с.
20. **Самарин М. С.** Город с городом, страна со страной. — М.: Радио и связь, 1983. — 168 с.
21. **Семенов Н. А.** Оптические кабели связи. — М.: Радио и связь, 1981. — 152 с.
22. **Соучек Л.** Туда, где не слышно голоса. — Прага: Гос. изд-во детской лит., 1968. — 240 с.
23. **Уилсон М.** Американские ученые и изобретатели. — М.: Знание, 1975. — 152 с.
24. **Шарле Д. Л.** Конструирование и расчет городских телефонных кабелей. — М.: Энергоиздат, 1982. — 248 с.
25. **Шателен М. А.** Русские электротехники XIX века. — М.—Л.: Госэнергоиздат, 1955. — 431 с.
26. **Юрьев М. И.** Теория телефонной передачи и ее практическое применение. — М.: Издательство НКТП, 1931. — 373 с.
27. **Яблоновский Н. А.** Телеграфирование по кабелю. — М.: Гостехиздат, 1930. — 168 с.
28. **Яроцкий А. В.** Основные этапы развития телеграфии. — М.—Л.: Госэнергоиздат, 1963. — 80 с.
29. **Яроцкий А. В.** Павел Львович Шиллинг. — М.: Академиздат, 1963. — 184 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

О книге 5
Предисловие 7
Введение 9

Глава первая
В докабельную эпоху, или от тамтама до электричества 15

Гонцы, колокола, костры 15
Башни с руками 22

Глава вторая
О тех, кто закладывал фундамент 31

Кое-что об электричестве 31
И все-таки Фалес! 31
Придворный врач — отец магнетизма 32
Первый источник электричества 33
Электричество "бежит" по . . . веревке 34
Кто открыл удивительную банку? 35
Электричество из воздуха 36
Электросвязь выходит на сцену 37
Идеи . . . идеи . . . идеи 38
Первые линии 43
Исторические парадоксы 46
Закон Кулона, открытый, оказывается, не Кулоном 46
Гальванический элемент, изобретенный не Гальвани 48
Вольтова дуга, зажженная не Вольтой 50

Еще два этапа 53
Электрохимический, или электролитический 53
На подступах к электромагнитному. 56

Глава третья
Сначала — телеграфные. 61

Изобретатель телеграфа П. Л. Шиллинг 61
Первые кабели, их первое и последнее поражение 67
А был ли изобретен кабель?. 82

Глава четвертая
Кабели уходят под воду 93

Что мы знаем о гуттаперче? 93
Первый морской 99
Битва за Атлантику. 105
Конструктор кабелей — лорд 113
Триумф 124

Глава пятая
Затем — телефонные 135

Изобретатель телефона А. Г. Белл, или сенсационные два часа 135
Немного теории 149
Лирическое отступление 155
Еще немного теории 157
Оливер Хевисайд поставил условие 162
Каскад изобретений. 165
Конструкция и технология 1869 года. 165
Конструкция и технология 1875 года. 166
Конструкции и технологии 1880-х годов. 168
Конструкции и технологии 1890-х годов. 172

Глава шестая
Кабели в городе: проблемы . . . проблемы . . . проблемы. 179

Сколько надо кабелей? 179
Проблема первая — из чего делать жилы? 185
Проблема вторая — какую изоляцию предпочесть? 190
Проблема третья — обратная связь 200

Глава седьмая
Страна "Эль-эф" 209

Борьба за дальность 209
Вверх по шкале частот 217
Симметричные 226
Коаксиальные 232

Глава восьмая
Через моря — океаны 249

Подводные телефонные 249
Без брони 263

Глава девятая
Немного о будущем 277

Соперничество, которому нет конца 277
Чудо-волокно 283
Дебют 283
Завоеванные позиции 288
Близкое и далекое 298
Будут ли кабели в 2000-м году? 309

Список литературы 315

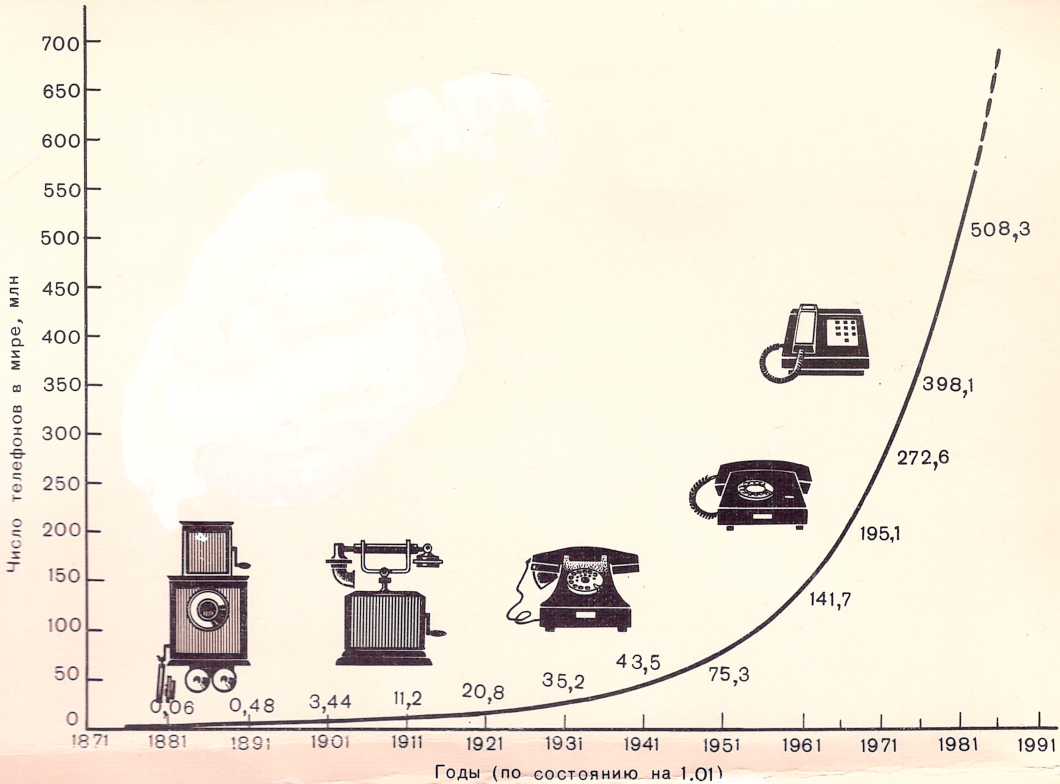
Давид Леонидович Шарле

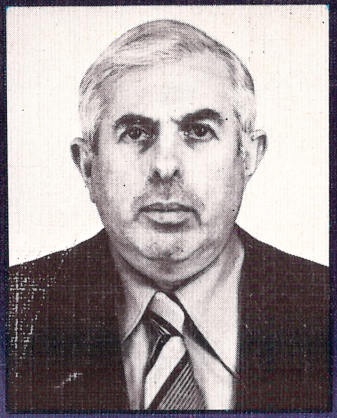
ПО ВСЕМУ ЗЕМНОМУ ШАРУ: Прошлое, настоящее и будущее кабелей связи

Заведующий редакцией В. Н. Вяльцев
Редакторы В. Е. Володарская, В. Н. Вяльцев
Художественный редактор Р. А. Казаков
Художники В. Н. Забайров, С. Г. Бессонов
Технический редактор Г. И. Колосова
Корректор З. Г. Галушкина

ИБ № 1090

Подписано в печать 17.09.85 Т-15281
Формат 70X100/32 Бумага офс. Гарнитура "Универс" Печать офсетная Усл. печ. л. 13,0 Усл.кр.-отт. 52,487 Уч.-изд. л. 14,39
Тираж 50 000 экз. Изд. № 19333 Зак. № 45. Цена 75 к.
Издательство "Радио и связь". 101000, Москва, Почтамт, а/я 693


Число телефонов в мире, млн
700
650
600
550
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
1871
1881
1891
1901
1911
1921
1931
1941
1951
1961
1971
1981
1991
Годы (по состоянию на 1.01)
0,06
0,48
3,44
11,2
20,8
35,2
43,5
75,3
141,7
195,1
272,6
398,1
508,3



ДАВИД ЛЕОНИДОВИЧ ШАРЛЕ

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, автор 160 печатных трудов, в том числе 28 книг и брошюр по истории, теории, расчету, конструированию и производству кабелей связи. "По всему земному шару" — его первая научно-популярная книга

«РАДИО И СВЯЗЬ»

75 к.

Д. Л. ШАРЛЕ — ПО ВСЕМУ ЗЕМНОМУ ШАРУ